

平成30年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「未利用バイオマス（有機汚泥）を燃料化する省エネ型低温乾燥プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成31年 3月

担当局 中部経済産業局
補助事業者 公益財団法人 中部科学技術センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制	15
1-3	成果概要	17
1-4	当該研究開発の連絡窓口	18

第2章 本論

2-1	エマルジョン添加時の乾燥促進メカニズムの把握	19
2-2	特定した乾燥のメカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の 構築および乾燥装置の決定	58
2-3	汚泥低温乾燥プロセスの最適化	65
2-4	固形燃料の製品品質の把握	66

最終章 全体総括

(1)	複数年の研究開発成果	70
(2)	研究開発後の課題	72
(3)	事業化展開について	74

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

「高度化指針」において定める、川下製造事業者等が抱える共通の課題及びニーズ

- (十一) バイオに係る技術に関する事項
 - 1 バイオに係る技術において達成すべき高度化目標
- (4) 川下分野特有の事項
 - 2) 環境・エネルギー分野に関する事項
 - ① 川下製造業者等の特有の課題及びニーズ
 - ア. 未利用のバイオマスの利用

未利用のバイオマス（有機汚泥）を固形燃料化し再生エネルギーとして利用するとともに、CO₂ 排出量を削減するため、川下製造企業である固形燃料化施設導入企業の課題である製造コスト（設備導入費、運転費）の大幅な低減と CO₂ 排出量削減に対応。

研究開発の概要

○従来技術での課題

有機汚泥の固形燃料化の省エネ型低温乾燥プロセス技術の確立に向けて、製造コスト（設備費、運転費）の低減、及び CO₂ 排出量削減の課題について、以下の研究により解決を図る。

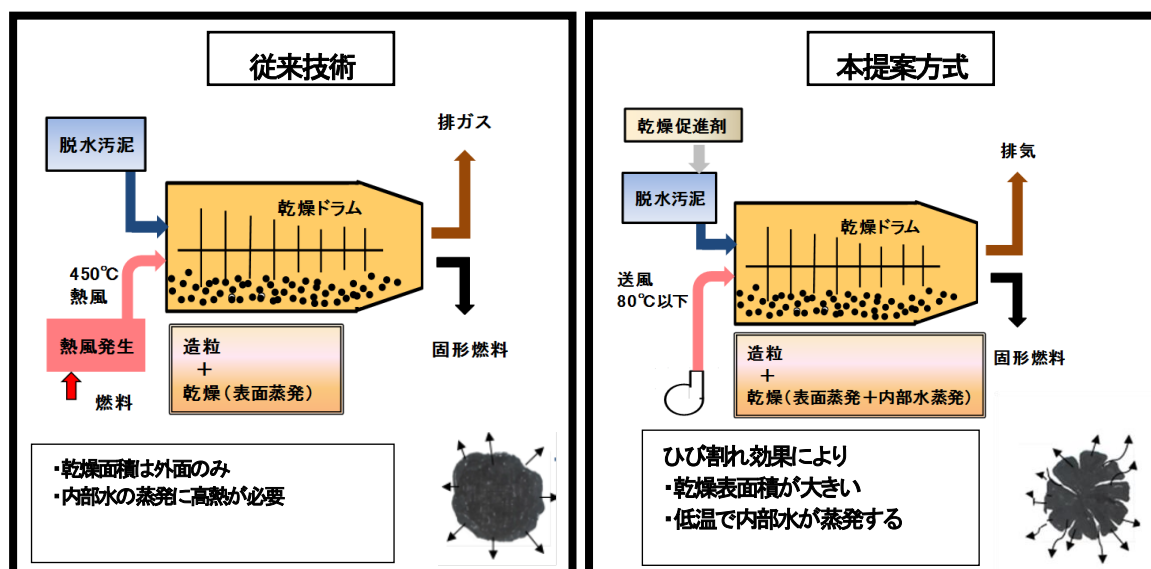


図1 従来方式ー提案方式イメージ図

(従来方式と本提案方式の比較)

表 1 従来方式－提案方式比較

	(従来技術) 炭化方式、造粒乾燥方式	(本提案方式) 省エネ型低温乾燥プロセス
技術的課題	・造粒物の乾燥は表面蒸発によることから乾燥に時間がかかり高温(400℃以上)の熱風を必要とする。 ・熱風発生のため化石燃料の消費量が大きい ・固形燃料化のための初期設備費用、運転費用(動力費、燃料費)が高額で、事業採算性に難がある。 ・固形燃料化のためのエネルギーが大きいこと、LCA(ライフサイクルアセスメント)でCO₂排出量削減効果を下げている。 ・貯蔵時に自然発火の危険性がある。	・エマルジョン(乾燥促進剤)を用いて造粒物に意図的にひび割れを発生させ、低温でも水分蒸発を高めることができるが、乾燥のメカニズム把握は不十分である。 ・低温(80℃以下)で乾燥できるため省エネとなるが、本乾燥メカニズムを最大限に発揮させる乾燥条件については把握が不十分である。 ・低温乾燥のため設備費用、運転費用が大幅に低減できるが、実用化には至っていない。 ・CO₂排出量削減に効果があるが、実用化レベルでのLCAは不十分である。 ・下水污泥固形化燃料のJISをクリアできているが、燃焼特性についても評価する。 ・自然発火抑制を付与して安全性を高める。
研究開発方法	・複数の下水污泥処理設備で固形燃料化設備の実証テスト段階	・小型機による乾燥メカニズムと乾燥条件の乾燥速度への影響の把握 ・乾燥メカニズムを最大限に活かす低温乾燥方法の構築 ・実用機テストで低温乾燥プロセスの評価 ・固形燃料製品品質の把握

<新技術の優位性>

- (1) イニシャルコスト(初期投資)、ランニングコスト(運転費用)の低減が大きいこと
- (2) 温室効果ガス排出量(CO₂換算)の削減効果が大きいこと
- (3) 得られた固形燃料の火災の危険性(貯蔵時の自然発火)の抑制効果が期待できること

※(1)(2)に関しては、下水污泥のエネルギー化施設の事業性の重要な検討項目になっており、新技術の差別化ポイントである。

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

当該技術は、生物資源を用いることで、生産物の製造から廃棄・再資源化に至るライフサイクルにおける二酸化炭素の大気中への排出が抑えられることから、環境負荷低減を可能にする燃料、食品、化成品等の製造プロセス構築への貢献の期待が高まっている。

同技術は、未利用バイオマスの有効利用及び汚染環境の修復への活用が図られている。

＜具体的な研究開発の内容＞

【1. エマルジョン（乾燥促進剤）添加時の乾燥促進メカニズムの把握】

【1-1】乾燥促進剤の添加による乾燥促進メカニズムを解明する。

【1-2】乾燥条件が乾燥速度へ与える影響を把握する。

【1-3】乾燥促進および乾燥に効果的に作用するひび割れを発生させる乾燥促進材を開発する。

【2. 特定した乾燥メカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定】

【2-1】汚泥の最適攪拌技術を検討する。

【2-2】空気導入方法を確立する。

【3. 汚泥低温乾燥プロセスの最適化】

【3-1】最適乾燥プロセスの構築と川下製造企業の各種汚泥を用いた実用機レベルでの評価を実施する。

【3-2】技術目標値を達成する。

【4. 固形燃料の製品品質の把握】

【4-1】固形燃料の物性評価（発熱量、水分量、灰分量、排ガス性状）を実施する。

【4-2】固形燃料の安全性の評価を実施する。

研究開発の目的

- ・再生可能エネルギーの利用、温室効果ガス排出量の削減が強く求められている中で、バイオマスである下水汚泥を含む有機汚泥は、バイオガス化・固形燃料化等により再生エネルギーとして活用することが可能であり、温暖化対策やエネルギー構造の転換等、社会的課題解決に貢献できるポテンシャルを有していることから、これまでその利用推進施策が行われてきたことは周知である。
- ・平成24年8月には閣議決定された第3次社会資本整備重点計画において、下水汚泥中の有機物がエネルギー利用された割合を示す、下水汚泥エネルギー化率目標が表2のように揚げられた。

- ・しかしながら図2に示すように、国土交通省の資料によれば、2012 年度の下水污泥エネルギー化率は13.6%であり、エネルギー化はほとんど進展していない。
- ・その理由のひとつとしては、有機污泥を燃料化するためのコスト（イニシャルコスト、ランニングコスト）が高いことであり、川下製造業者である地方公共団体、民間企業の有機污泥処理施設において、事業採算性の観点から燃料化設備の導入が進んでいないということが挙げられる。
- ・事業採算性に大きな影響を与えているのは、主要工程である乾燥工程にあると考えられることから、本事業は、下水污泥の再生エネルギーの利用推進を阻害する乾燥工程に関わるイニシャルコスト（設備費、建設費）、ランニングコスト（燃料費、補修費）を大幅に低減する省エネ型低温乾燥プロセスを開発し、固形燃料化率の向上を図ることで、社会的なニーズでもある未利用バイオマスの利用促進と温室効果ガス排出量の削減に寄与ことを目的とする。

表2 第3次社会資本整備重点計画における下水污泥
エネルギー化率目標と実績（平成24年8月閣議決定）

2010 年度 ^①	⇒ ^②	2016 年度 ^③
約 13% ^④	⇒ ^⑤	約 29% ^⑥

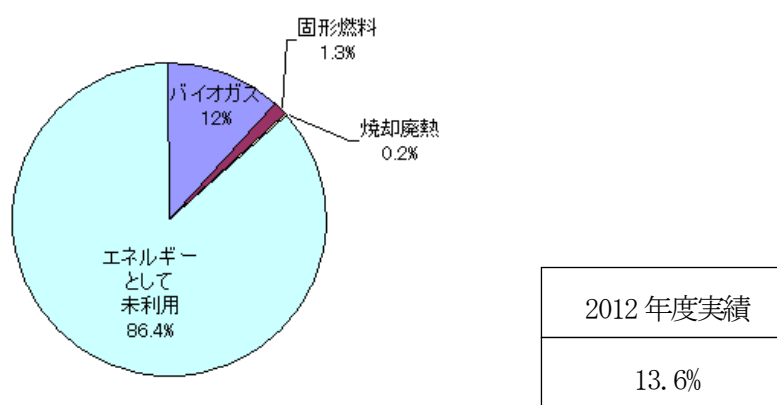


図2 下水污泥のエネルギー化率（2012 年度）

（出典：国土交通省資料）

研究開発の経緯

- ・(株) アクトは、下水汚泥に合成樹脂エマルジョン（乾燥促進剤）を混合、混練した粒状体に強制的に空気を送風して乾燥させると、図3に示すように添加しないものと比べ乾燥時間が短くなることを見出し特許を取得した。（特許 5642131）
- ・各種 FA システムの設計、製造で実績を有する(株) アイサクは、この特許を活用し固形燃料化技術のひとつである造粒乾燥方式を基本とし、乾燥促進剤供給部、混練機（2軸ニーダ）、乾燥回転ドラム、送風機などで構成される有機汚泥固形燃料化パイロット設備を作り、川下企業である下水処理場、食品汚泥処理施設などから汚泥ケーキ（下水汚泥、食品汚泥）の供試を受け、この設備で乾燥促進剤を添加し、室温の空気を送風し強制乾燥を行い表3に示す JIS 規格（含水率、発熱量）をクリアする固形燃料サンプル（図4）を得ることが出来た。
- ・乾燥促進剤（以下エマルジョン）添加により低温でも乾燥速度が高まる理由については、平成 27 年に名城大学の高倍教授、岐阜大学の小林准教授、玄々化学工業（エマルジョン供給企業）を加えて研究会を立ち上げ実験と検討を行った結果、乾燥過程で汚泥粒子表面にひび割れが発生し（図5）、乾燥表面積が増えることや、割れにより内部水と表面との距離が近くなることで、室温（低温）空気の吹付けで従来に比べて水の蒸発（気化）が進んでいくと推定された。
- ・これらの結果を踏まえて、本研究開発では低温で乾燥速度を高めることができるこの技術を、さらに高度化して、有機汚泥の燃料化における乾燥工程のコスト低減につながる省エネ型低温乾燥プロセスの技術開発を行い、前記目的を達成しようとするものである。

(実験方法)

脱下水汚泥に重量比で3%の乾燥促進剤を加えて混合したもの（DA3%）と、乾燥促進剤を加えないもの（DA0%）をφ8mmに丸めて、温度30℃、湿度40%の外気エアを送風して強制乾燥。1時間毎に含水計で計測する。

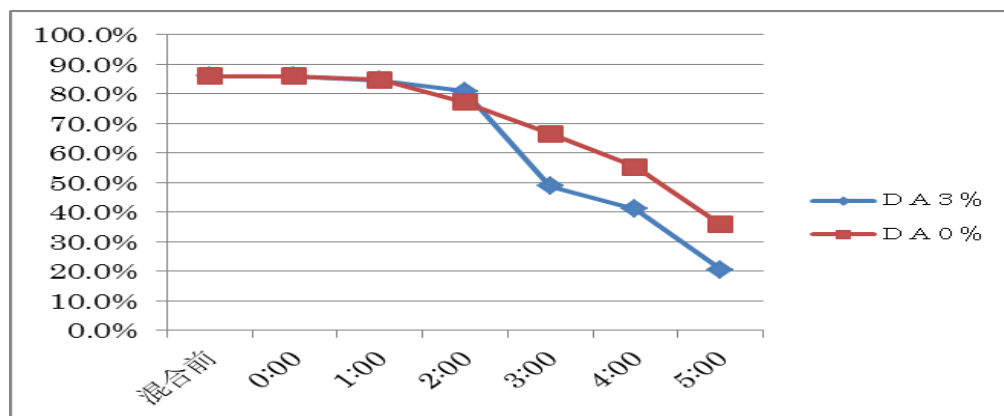


図3 乾燥促進剤の有/無時の強制乾燥実験における汚泥の含水率の変化

表3 下水汚泥固形燃料(BSF)分析結果

分析対象		単位	分析結果	JIS規格 (JIS Z7312)
1	発熱量	MJ/g	18.7	15以上 (BSF-15) 8以上 (BSF)
2	水分	%	12.1	20以下
3	灰分	%	9.0	—
4	硫黄	%	0.63	—
5	窒素分	%	4.6	—

(供試有機汚泥)

種類 : 下水道汚泥

採取場所 : 八王子水再生センター

採取者名 : 東京都下水道局 流域下水道本部

(分析実施機関)一般財団法人 東海技術センター



図4 固形燃料サンプル



図5 乾燥時の汚泥粒子のひび割れ

研究開発の背景（これまでの取組など）

未利用のバイオマスの利用を促進し、環境負荷低減を可能とする燃料製造プロセス構築を実現するため、川下製造企業の課題である製造コスト低減を図るため「省エネ型低温乾燥プロセス」を開発する。

○これまでの取り組みでできた事、わかった事

- ①エマルジョンを添加したものは、しないものより強制対流乾燥時に乾燥速度が高まること。
- ②下水污泥ケーキにエマルジョンを添加し、2軸ニーダで混練後、押し出し機を経由させ乾燥ドラムに供給し、転動造粒を行いながら、外気導入による強制対流乾燥を行う事（バッチ処理）で、JIS規格をクリアするφ2～φ8mmの固形燃料を製造できること。また、転動造粒時に、エマルジョンによる凝集防止作用と思われる污泥が団子状態になりにくく、小径粒になり易いこと。
- ③造粒污泥の表面のひび割れが見られること。これにより乾燥面積が増えることや内部水分が蒸発し易くなり、室温の外気導入による強制対流で水分蒸発が促進されと考えられること。

○これまでの取り組みでできていないこと—新技術を実現するための解決すべき課題—

1. エマルジョン（乾燥促進剤）添加時の乾燥促進メカニズムの把握
 - ①乾燥促進剤により乾燥速度が高まる乾燥メカニズムの解明（粒子表面のひび割れなど）
 - ②乾燥条件が乾燥速度に与える影響の把握
 - ③乾燥に効果的に作用するひび割れを発生させる技術
2. 特定した乾燥のメカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定
 - ①造粒物の乾燥表面積の増加技術
 - ②造粒物の内部水の水分蒸発促進技術
 - ③蒸発した水分を分散、放出し、空気を飽和（水蒸気量）状態にしない技術
 - ④エマルジョンの疎水性の活用技術
3. 污泥低温乾燥プロセスの最適化
 - ①実用機での評価（設備目標値の達成）
 - ②川下企業（エネルギー化施設導入ユーザ）の事業性の算定、製造コストの低減（設備費、運転費）CO2 排出量削減効果（LCA評価）
4. 固形燃料の製品品質の把握
 - ①固形燃料の物性評価（発熱量、灰分量、排ガス性状など）
 - ②固形燃料の安全性の評価（火災危険性）

当該分野における研究開発動向

当該分野の技術としては低コスト、省エネ技術が求められており、平成27年3月の国土交通省「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン改訂版」によれば、下水汚泥のエネルギー化施設の事業性の検討は以下の点を評価、算定としている。

- (1) イニシャルコスト、ランニングコスト
- (2) 環境価値（温室効果ガス排出量削減効果）

表4に事業性の検討項目（太枠囲い部）などについて、従来方式である造粒乾燥方式、炭化方式と本提案方式である省エネ型低温造粒乾燥方式との比較を示す。従来技術の数値については、岡 敏弘（福井県立大学経済学部）「3Rの経済的評価の方法—下水汚泥固形燃料化技術の経済的評価を例に—」（廃棄物の適正化処理と3Rの経済的価値に関するワークショップ（2014年2月8日鳥取環境大学）資料）より引用した。本提案方式は、以下を目標に研究開発を行う。

(A) 初期投資：造粒乾燥方式の約10%低減（0.27 ⇒ 0.24 億円/（t/日））

(B) 運転費用：造粒乾燥方式の30%低減（1.7 ⇒ 1.2 万円/t）

(C) エネルギー回収率：製品エネルギー量/（投入燃料＋消費電力）

造粒乾燥方式の2.5倍（70 ⇒ 186%）

(D) CO₂ 排出純削減量：純削減可能量 801t-CO₂ /年

表4 従来技術と開発技術の比較

			造粒乾燥方式	炭化方式	提案方式
生産	製造日数		1	2～3	1
	初期投資 ¹⁾	(億円/(t/日))	0.27	1.03	0.24
	運転費用 ¹⁾	(万円/t)	1.70	2.48	1.2
製品	製品量 ¹⁾	(t/年)	1060	500	1200 ²⁾
	低位発熱量	(kcal/kg-DS)	3500～4000	3500～4000	4300 ³⁾
	含水率	(%)	10	5%以下	20以下
エネルギー ¹⁾	投入燃料	(kL/年) (GJ/年)	482 18850	254 9930	0 0
	消費電力	(MWh/年) (GJ/年)	359 3480	1440 13940	1200 ⁴⁾ 11620 ⁵⁾
	製品量	(GJ/年)	15620	7910	21590 ⁶⁾
	回収率	(%)	70.0	33.1	186 ⁷⁾
CO ₂	製造排出	(t-CO ₂ /年)	1502	1475	695 ⁸⁾
	製品削減	(t-CO ₂ /年)	1406	712	1496 ⁹⁾
	(参考)同上換算値	(t-CO ₂ /GJ)	(0.090)	(0.090)	(0.069)
	純削減 ¹⁰⁾	(t-CO ₂ /年)	-96	-763	801
	比焼却削減 ¹¹⁾	(t-CO ₂ /年)	1587	920	2484

(2) 研究目標

研究開発の高度化目標及び技術的目標値

- (十一) バイオに係る技術に関する事項
- 1 バイオに係る技術において達成すべき高度化目標
- (4) 川下分野特有の事項
- 2) 環境・エネルギー分野に関する事項
- ②高度化目標
- ア. 未利用バイオマスを利用したエネルギー生産技術の向上
- イ. 廃棄されていた生物資源の再資源化に係る技術の確立
- エ. 未利用バイオマス利用の環境負荷低減効果の確立

高度化目標として、(ア) 未利用バイオマス (有機汚泥) を固形燃料化することで、バイオマス燃料 (石炭代替エネルギー) としてエネルギー生産技術の向上、(イ) 廃棄されていた生物資源である有機汚泥を固形燃料化することで再資源化する技術の確立、(エ) 有機汚泥を固形燃料化し再生可能エネルギーとして活用することによる環境負荷低減効果の確立、を掲げて乾燥促進剤を用いた新たな乾燥メカニズムによる低温乾燥プロセスを開発することにより、固形燃料化施設導入企業の製造コスト削減と製造時の省エネ化、CO₂ 排出量削減を図り、高度化目標を達成する。

本研究開発における技術的目標値

- 【1. エマルジョン (乾燥促進剤) 添加時の乾燥促進メカニズムの把握】
- 【2. 特定した乾燥のメカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定】
- 【3. 汚泥低温乾燥プロセスの最適化】

【1】【2】【3】を達成することで、以下の設備目標値、技術目標値を達成する。

・設備目標値：汚泥ケーキ (含水率 80%) を 80℃以下の低温で時間当たり 50kg 以上固形燃料化 (含水率 20%以下) を達成する。

・技術目標値：従来技術の造粒乾燥方式より設備費用 10%低減 (0.27⇒0.24 億円/(t/日))

運転費用 30%低減 (1.7⇒1.2 万円/t) (表 5. A, B)

LCA (ライフサイクルアセスメント) による CO₂ 排出量削減の効果

・6000 t /年の固形燃料化設備において、エネルギー回収率が従来技術の約 2.5 倍 (表 5. C)

※エネルギー回収率=製品エネルギー量/製品製造時の消費電力エネルギー量×100%

・6000 t /年の固形燃料化設備における CO₂ 純削減量 801t-CO₂ /年 (表 5. D)

※ (純削減量) t-CO₂/年 = (製品削減) t-CO₂/年 - (製造排出) t-CO₂/年

【4. 固形燃料の製品品質の把握】

- ・製品として、下水汚泥固形燃料の JIS 規格 (Z 7312) のクリア発熱量 15MJ/g 以上、水分 20%以下
- ・エマルジョンの表面処理効果(酸素遮蔽効果)による、貯蔵時の自然発火の危険性がない事。

(設備目標値)

汚泥処理量	50 kg/h 以上
送風温度	80℃以下
エマルジョン添加量	3%以下 (汚泥重量比)
消費電力	200 kWh/t

(従来技術と比較した技術目標値)

表5 技術目標値比較

			造粒乾燥方式	炭化方式	提案方式	
生産	製造日数		1	2~3	1	
	初期投資 ¹⁾	(億円/(t/日))	0.27	1.03	0.24	→ A
	運転費用 ¹⁾	(万円/t)	1.70	2.48	1.2	→ B
製品	製品量 ¹⁾	(t/年)	1060	500	1200 ²⁾	
	低位発熱量	(kcal/kg-DS)	3500~4000	3500~4000	4300 ³⁾	
	含水率	(%)	10	5%以下	20以下	
エネルギー ¹⁾	投入燃料	(kL/年)	482	254	0	
		(GJ/年)	18850	9930	0	
	消費電力	(MWh/年)	359	1440	1200 ⁴⁾	
		(GJ/年)	3480	13940	11620 ⁵⁾	
	製品量	(GJ/年)	15620	7910	21590 ⁶⁾	
CO ₂	回収率	(%)	70.0	33.1	186 ⁷⁾	→ C
	製造排出	(t-CO ₂ /年)	1502	1475	695 ⁸⁾	
	製品削減	(t-CO ₂ /年)	1406	712	1496 ⁹⁾	
	(参考)同上換算値	(t-CO ₂ /GJ)	(0.090)	(0.090)	(0.069)	
	純削減 ¹⁰⁾	(t-CO ₂ /年)	96	-763	801	→ D
	比焼却削減 ¹¹⁾	(t-CO ₂ /年)	1587	920	2484	

上記表の従来技術の造粒乾燥方式、炭化方式の数値については、岡 敏宏(福井県立大学経済学部)の「3R の経済的評価の方法—下水污泥固形燃料化技術の経済的評価を例に—」(廃棄物の適正化処理と3R の経済的価値に関するワークショップ(2014 年2月8日鳥取環境大学)資料)より引用した。

(技術目標値の算出)

- 1)下水污泥6000t/年処理の場合
- 2)製品化重量は污泥重量の1/5として算出
- 3)18MJ/kg—DS=18MJ/kg—DS×0.239cal/J=4300kcal/kg—DS DS: Dry Solid
- 4)(0.5t当たりの消費電力量)100kWh/0.5t×6000t/年/1000=(6000t当たりの消費電力量)MWh/年
- 5)(6000t当たりの消費電力量)1200MWh/年×9.68GJ/MWh=(6000t当たりの消費電力エネルギー)GJ/年
(注)1MWh⇒9.68GJの換算値は発電時の昼間・夜間の平均受電端投入熱量
- 6)1200t/年×4300Mcal/t-DS/0.239cal/J=21590GJ/年
- 7)(製品エネルギー量:21590GJ/年)/(6000t当たりの消費電力エネルギー量GJ/年)×100=(回収率)%
- 8)(6000t当たりの消費電力量)1200MWh/年×0.579t-CO₂/MWh=(製造時CO₂排出量)t-CO₂/年
(注)0.579t-CO₂/MWhは地球温暖化対策推進法における排出係数代替値(平成26年度実績値(平成27 年11月30日公表))
- 9)21590GJ/年/39.1GJ/kL×2.71t-CO₂/kL=1496t-CO₂/年
(注)重油換算削減量 39.1GJ/kLは重油の1kL当たりのエネルギー発生量、2.71t-CO₂/kLは1kL当たりの重油からのCO₂発生量
- 10)(製品削減)t-CO₂/年-(製造排出)t-CO₂/年=(純削減)t-CO₂/年
- 11)焼却埋立で1683t-CO₂/年排出するとして算出
1683t-CO₂/年+(純削減)t-CO₂/年=(比焼却削減)t-CO₂/年

（３）実施結果概要

【１．エマルジョン（乾燥促進剤）添加時の乾燥促進メカニズムの把握】

- ・乾燥促進剤が乾燥に与える影響および乾燥促進剤添加における汚泥乾燥のメカニズムを把握した。
- ・乾燥温度、粒子径などの乾燥条件が乾燥速度に与える影響について把握し、最適乾燥条件を明確にした。
- ・汚泥乾燥において最適な促進剤の選択を行った。

これら結果より、本事業における乾燥促進メカニズムの把握ができた。

【２．特定した乾燥のメカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定】

- ・乾燥装置の小型試作機を用いて様々な条件下での汚泥乾燥実験を行い、攪拌スピード、方向、導入空気風量、バッフル板など、乾燥装置として必要な形状、仕様の検討を実施した。
- ・乾燥装置では再熱除湿乾燥プロセスを採用することにより、運転費用を抑制することができる。
- ・乾燥時間シミュレーションソフトを作成し、実機での乾燥時間の推測、機器の容量選定においても十分活用できるツールとなった。

これら結果より、実際の各種汚泥の乾燥装置仕様決定にあたっては乾燥材料の性質をも考慮した攪拌方法、翼形状、翼配置などの仕様を考慮すべきとの知見を得た。

【３．汚泥低温乾燥プロセスの最適化】

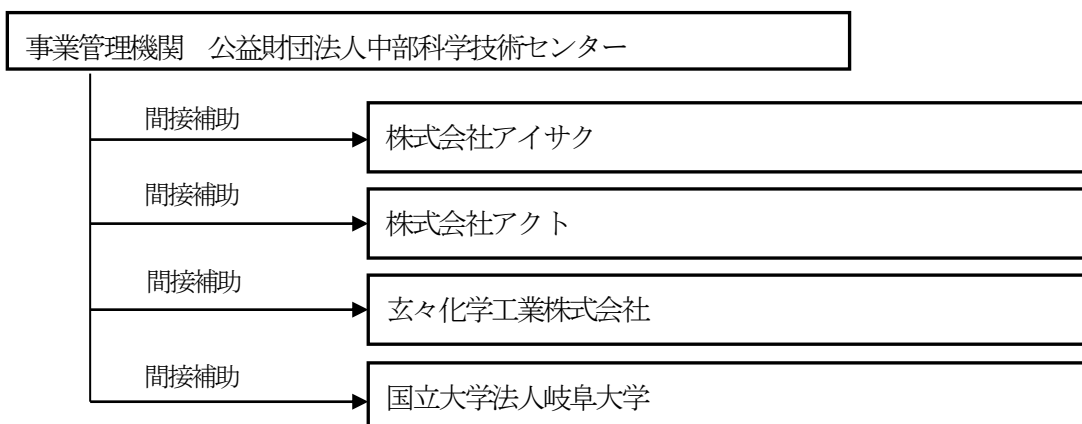
- ・【２】で得られた実験結果を元にＬＣＡ評価を行い、設備費用、運転費用の低減、CO2 排出量削減のための仕様検討を実施し、再熱除湿乾燥方式の必要性を見出した。
- ・乾燥プロセスの最適化に資する標準的な仕様を見出し、LCA 評価において当初目標値には達しなかったものの、従来方式に比した優位性を見出すことができた。

【４．固形燃料の製品品質の把握】

- ・固形燃料として乾燥促進剤添加汚泥の燃焼性の検証および自然発火の可能性について評価を行った。特に、乾燥促進剤の添加による発熱量や燃焼安定性について実験的検討を行った。

1-2 研究体制

(1) 研究組織・管理体制



(2) 研究者氏名・協力者

【事業管理機関】 公益財団法人中部科学技術センター

管理員

氏 名	所属・役職
竹村 初美	事務局長
平本 邦夫	研究開発推進部長
高須 容功	研究開発推進部 主任
土谷 由貴子	研究開発推進部
松下 純恵	総務部

【間接補助事業者】

株式会社アイサク

氏 名	所属・役職
須藤 昭一	代表取締役
今井 祐二	業務運営室 室長
片桐 英貴	業務運営室 主任
吉村 航	技術部機械設計課 係長
倉重 健一	技術部機械設計課 担当
山仲 毅	技術部電気制御課 担当
澤野 一義	製造部 担当
村田 京平	製造部 担当
岩元 大至	製造部 担当
林 智明	製造部 担当
高濱 悠輔	営業事務 担当
堀尾 敦司	製造部 担当

荘加 将英	技術部機械設計課 担当
後藤 大	営業事務 担当
中野 良彦	技術部電気制御課 担当
松尾 勝利	技術部電気制御課 担当
山本 英司	技術部電気制御課 課長
加藤 美徳	技術部電気制御課 担当

株式会社アクト

氏 名	所属・役職
奥田 彰久	代表取締役

玄々化学工業株式会社

氏 名	所属・役職
大木 博成	技術部 部長
伊藤 拓美	技術部 研究課 係長
神谷 憲児	技術部 研究課

国立大学法人岐阜大学

氏 名	所属・役職
小林 信介	国立大学法人岐阜大学 大学院工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 准教授

1-3 成果概要

【1. エマルジョン（乾燥促進剤）添加時の乾燥促進メカニズムの把握】

- ・乾燥促進剤が乾燥に与える影響および乾燥促進剤添加における汚泥乾燥のメカニズムを把握した。
- ・乾燥温度、粒子径などの乾燥条件が乾燥速度に与える影響について把握し、最適乾燥条件を明確にした。
- ・汚泥乾燥において最適な促進剤の選択ができた。

【2. 特定した乾燥メカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定】

- ・乾燥装置の小型試作機を用いて様々な条件下での汚泥乾燥実験を行い、攪拌スピード、方向、導入空気風量、バッフル板など、乾燥装置として必要な形状、仕様の検討を実施した結果、実際の各種汚泥の乾燥装置仕様決定にあたっては乾燥材料の性質をも考慮した攪拌方法、翼形状、翼配置などの仕様を考慮すべきとの知見を得た。
 - ・乾燥時間シミュレーションソフトを作成し、実機での乾燥時間の推測、機器の容量選定においても十分活用できるツールとなった。
 - ・乾燥装置では再熱除湿乾燥プロセスを採用することにより、運転費用を抑制することができる。
- これら結果より、実際の各種汚泥の乾燥装置仕様決定にあたっては乾燥材料の性質も考慮した攪拌方法、翼形状、翼配置などの仕様を考慮すべきとの知見を得た。

【3. 汚泥低温乾燥プロセスの最適化】

- ・大型乾燥装置を使用して乾燥試験を実施し、再熱除湿乾燥方式の必要性を見出した。
- ・乾燥プロセスの最適化に資する標準的な仕様を見出し、LCA評価において当初目標値には達しなかったものの、従来方式に比した優位性を見出すことができた。
- ・汚泥の最適攪拌技術とも共通したことであるが、現状のところ全ての材料について最適な乾燥プロセスは確認出来ておらず、当面、乾燥材料毎の乾燥特性データなどを取得、蓄積しながら、乾燥材料毎に詳細仕様を決める必要があるという結論を得た。

【4. 固形燃料の製品品質の把握】

- ・乾燥促進剤の添加の有無に関わらず、石炭の7割程度の熱量を有しており乾燥促進剤添加による熱量に与える影響が小さいことが分かった。

- ・本方式による固形燃料は石炭に比べて揮発分が多いことから、燃焼性についてはほぼ問題が無いものと考えられる。また、灰分割合についてもほぼ石炭と同様であったことから、石炭火力等での燃焼についても大きな問題はないものと考えられることが分かった。
- ・乾燥促進剤については乾燥面が撥水性であることから、水吸着による有機物分解の可能性は低いと考えられるため、燃料としての貯蔵に適しているものとは考えられる。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社アイサク 代表取締役社長 須藤昭一

Email : s_sudo@aisaku.co.jp FAX : (0565) 34-3830 TEL : (0565) 31-0281

第2章 本論

【2-1. エマルジョン（乾燥促進剤）添加時の乾燥促進メカニズムの把握】

汚泥乾燥実験の準備（汚泥試料の作成と乾燥装置）

開始当初の実験試料は、汚泥と特性の類似したドックフード、加えて実験環境の臭気の問題から汚泥より低臭な疑似汚泥を新たに開発し、これら3種類の試料を適宜用いて自然乾燥実験を行った。乾燥促進剤の添加がそれら試料の乾燥速度に与える影響を評価するとともに、試料の粒径が乾燥速度に与える影響についても評価を行った。また、乾燥後の試料のヒビ個数を確認し、乾燥速度とひび割れの関係についても評価を行った。自然乾燥実験を行うにあたって、ドックフードや汚泥に乾燥促進剤を混合する際には、手作業のほかに、購入したサンドミルによって均一な状態に混合して試料を作製した。乾燥速度の測定では恒温恒湿器内に試料を静置した後、一定時間毎に重量測定を行って重量の減少度合いを乾燥速度の指標とした。

試料は汚泥に乾燥促進剤、蒸留水を加え作成した。この際、汚泥及び汚泥の含水率は 83-85% (Wet base)、乾燥促進剤の含水率 (Wet base) を考慮し実験試料含水率が 85% (Wet base) になるように試料を作成した。試料は、図6に示す混練機を用いて汚泥、乾燥促進剤、蒸留水を一定量で混ぜ合わせた。乾燥性を比較した予備試験によって選定した5種類の乾燥促進剤と界面活性剤の樹脂固形分率、最低造膜温度、ガラス転移温度、平均粒子径、粘度、pH を表6にまとめて示す。乾燥試料として用いた汚泥の平均粒子径は 160 μm である。以下に下水汚泥（含水率 $x\%$ ）、乾燥促進剤（含水率 $y\%$ ）、蒸留水を用い試料含水率 85% (Wet base) 乾燥促進剤添加率 $n\%$ の汚泥 5g の試料作成方法を示しておく。

$$5 = m + e + w \quad (1)$$

$$x/100 \times m + y/100 \times e + w = 5 \times 0.85 \quad (2)$$

$$5 \times n/100 = (1 - y/100) \times e \quad (3)$$

m : 汚泥重量[g]

e : 乾燥促進剤重量[g]

w : 蒸留水重量[g]

x : 汚泥含水率[%]



図6 混練機

y: 乾燥促進剤含水率

n: (乾燥促進剤固形分の目標) 添加率[%]

表6 Characteristics of the drying the accelerator

	resin solids [%]	MFT* [°C]	T _g ** [°C]	mean particle size[μm]	viscosity [m・Pas]	pH
DA01 (StAc)	54	0	-28	160	1000	7.0
DA1 (ViAc)	33	0	33	1.9	500	4.0
DA4 (Ac)	46	50	41	152	100	6.0
DA7 (StAc)	46	80	98	149	200	8.2
DA10 (Ac)	55	—	-52	0.439	60	8.0
DA10+ (Ac)	40	—	—	—	—	—
SAA	0	—	—	—	—	—

*MFT: minimum film forming temperature

**T_g: glass transition temperature

作成した試料を用い、混練機で満遍なく混ぜた後、図7に示す転動造粒装置を用いて試料を球状に丸め、形状や成形時の圧力等が乾燥に与える影響を極力除外した。自然乾燥実験には温度、湿度共に一定に保つことができる恒温恒湿器（図8）を用いた。この機器は自然乾燥させる際に日時によって温度・湿度が変動してしまう問題点を改善しており、恒温恒湿機内部の様子を図9に示す。



図8 恒温恒湿器

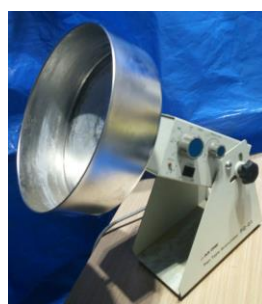


図7 転動造粒装置



図9 恒温恒湿器内部の様子

【2-1-1 乾燥促進剤の添加による乾燥促進メカニズムの解明】

乾燥促進剤を添加することで造粒汚泥は乾燥時に多数のひび割れが発生し、乾燥面積が増大することにより乾燥速度が速くなることが予備実験により明らかなことから、乾燥促進剤添加の有無における汚泥の乾燥実験を試み、造粒汚泥の性状評価（表面観察、細孔分布測定、収縮評価、および粒子強度）を実施して、乾燥促進剤が乾燥速度に与える影響および乾燥メカニズムを把握した。

乾燥促進剤の添加によって乾燥速度は優位に上昇し、添加量を増やすとともに、乾燥速度が速くなることが明らかとなり、試料に対して 0-20%の添加範囲においては添加量と乾燥速度に相関関係が見られることが明らかとなった。これは、乾燥物表面のヒビの個数（比表面積）と関係しており、乾燥促進剤を添加することにより、表面のヒビの個数が大幅に増大することが明らかになった。乾燥物表面の観察には購入した顕微鏡を用いて行った。

ドックフードと汚泥の乾燥速度は大きく異なり、乾燥促進剤の添加がそれら試料の乾燥速度に与える影響も異なっており、促進剤の添加により汚泥の方が顕著に乾燥速度は速くなった。疑似汚泥と汚泥はドックフードに比べると乾燥速度は近似する結果が得られたが、同様に汚泥のほうが高い乾燥速度を示した。これらの原因は各汚泥の表面官能基の違いが影響しているものと推測し FT-IR による表面官能基測定を実施し、乾燥促進剤を添加した乾燥汚泥には OH や COOH などの親水性官能基が多く見られ、これら親水性を示す官能基が多くなることで汚泥粒子内部の水の拡散速度の向上から乾燥促進につながったと結論した。

試料の粒子径については乾燥速度に大きな影響を与えてはいないものの、試料中の粒子径が大きいほど若干乾燥速度が速い傾向が見られた。

購入した SEM を用いて上述の乾燥物の観察を行って粒子表面の物理的变化を観測し、乾燥促進剤が汚泥表面の物理的性状に与える影響について評価を行ったが、促進剤添加の有無による微細な構造の変化は観察されなかった。

図 10 に示すように乾燥促進剤の添加の有無により乾燥時の重量変化の傾向が異なっており、図 10 に示したそれぞれの乾燥特性曲線（図 11）の詳細な検討から乾燥促進剤の添加によって定率乾燥期間が長くなることがわかった。その一方で、減率乾燥期間における乾燥速度は乾燥促進剤を添加しない場合の方が速いことが明らかとなった。

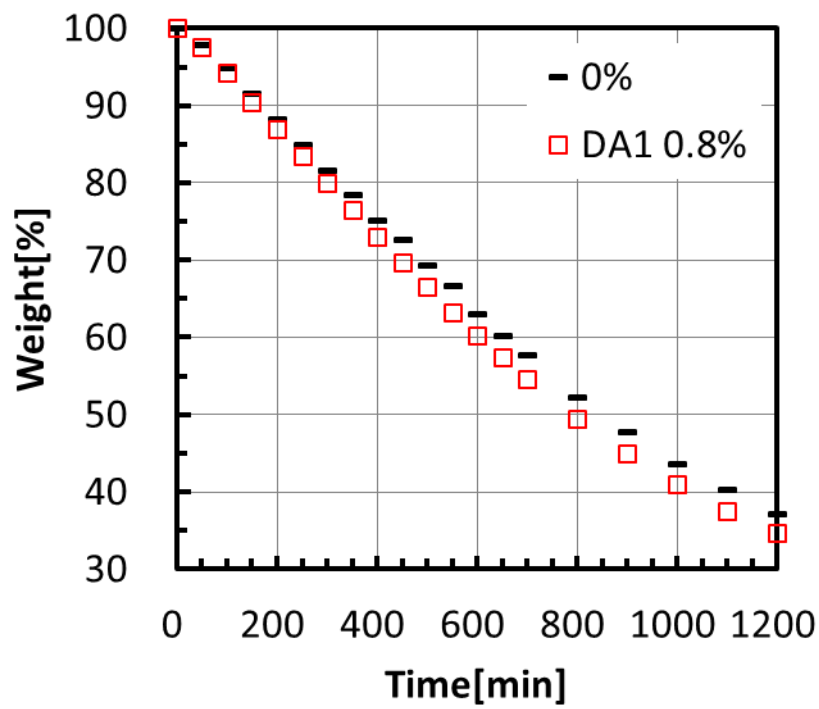


図 10 乾燥促進剤の有無における汚泥乾燥時重量変化

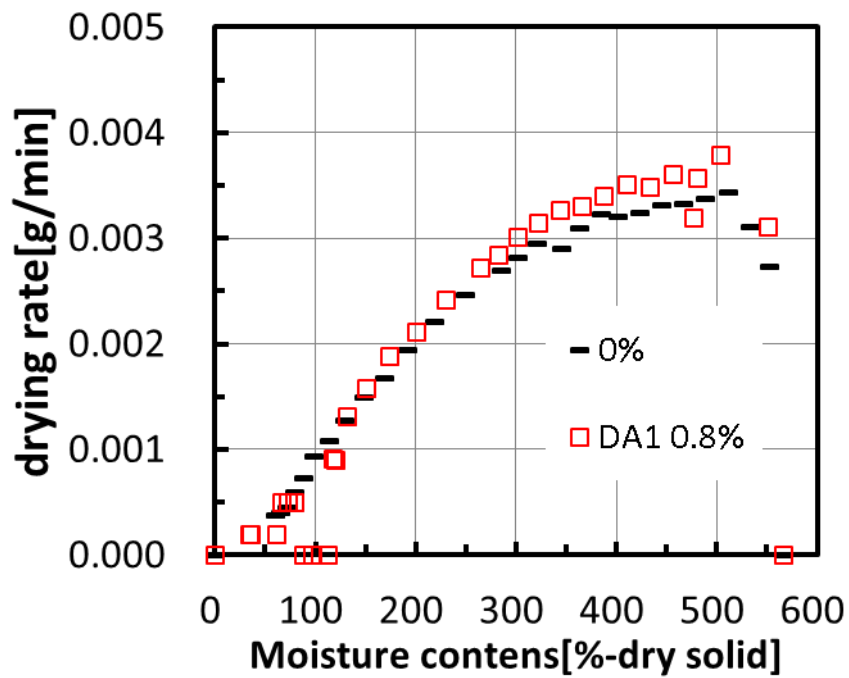
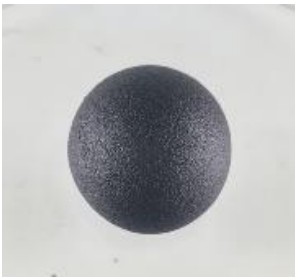


図 11 乾燥促進剤の有無における汚泥乾燥時の乾燥特性曲線

乾燥促進剤の添加によって定率乾燥期間が長くなることで絶対的な汚泥の乾燥時間は短縮できるが、定率乾燥期間が長くなることから、表7に示すようなこれまで想定していたひび割れによる乾燥面積の増大が乾燥速度に影響を及ぼしているのだけではなく、乾燥促進剤の親水効果が汚泥内の水分移動に影響を及ぼしていると推定した。加えて乾燥促進剤の添加は、乾燥過程の進行に伴って、汚泥内の水分移動を阻害していることが示唆された。

表7 乾燥前後汚泥写真

	無添加	0.8%添加
乾燥前汚泥試料		
	↓	↓
乾燥後汚泥試料		

当初に推定していた乾燥促進剤の添加によって造粒汚泥は乾燥時に多数のひび割れが発生し、乾燥面積が増大することによる乾燥速度の向上に加えて、乾燥促進剤を添加による汚泥中の水分移動や汚泥表面の乾燥特性が乾燥性に大きく影響していることが明らかとなった。

これらを詳細に調べるため以下に示す各種実験を行い、ひび割れの増大による乾燥時のビデオ撮影や顕微鏡観察から乾燥促進剤添加汚泥の詳細な乾燥メカニズムの解明に取り組んだ。

2-1-1-1 乾燥汚泥の形状比較と汚泥表面観察

ヒビの量や変形の度合い、試料性状等の確認のため得られた汚泥乾燥物の写真を撮影し、乾燥促進剤ごとの形状の比較を行った。また、恒温恒湿機内部に設置したビデオカメラを用いた経時観察を行い、無添加試料と DA10 を 0.8% 添加した汚泥試料に対して実験結果との比較を行った。

自然乾燥実験における乾燥前試料写真と乾燥後試料写真を図 1 2 に示す。左から、乾燥前試料、無添加試料、DA01 添加試料、DA1 添加試料、DA7 添加試料、DA10 添加試料である。乾燥後試料はいずれもヒビ、収縮が確認された。また、いずれの試料も底面にヒビが確認された。試料の底面は試料台との接触により乾燥が抑制されるため高含水率となり試料内部には含水率分布が生じており、高含水率は低強度のためヒビが生じやすいことから、ヒビは汚泥の高含水率部である底面より生成されると推定した。

図 1 3 に乾燥試験中の無添加汚泥試料と DA10 添加汚泥試料に対してビデオカメラを用いて経時観察を行った結果を示す。無添加の試料では試験開始後 330 分後まで表面がマットな質感をしており湿潤状態が続いたことが確認されたのに対し、DA10 添加試料では 480 分後まで湿潤状態が継続していた。また、乾燥途中の汚泥試料を取り出して調べたところ表面が硬くなっていたが、内部は柔らかいとなっていたことから、内部の水分移動速度が律速となっていると考えられる。DA10 の添加により、後述するように恒率期間の延長と減率乾燥速度の向上がみられたことから、表面の乾燥と乾燥に伴う汚泥表面の固化は内部の水分が表面に移動し、外気と接触することで進行するという乾燥のプロセスの阻害要因となると考えられた。そのため、乾燥促進剤 DA10 の添加により汚泥表面の固化を防ぐことで、内部の水分移動が無添加試料と比較して促進され、汚泥表面に水分が出やすくなることで表面の固化を防いでいると予想した。



図 1 2 乾燥前後の汚泥試料

(左から乾燥前試料, 乾燥後無添加試料, 乾燥後 DA01 添加試料,
乾燥後 DA1 添加試料, 乾燥後 DA7 添加試料, 乾燥後 DA10 添加試料)

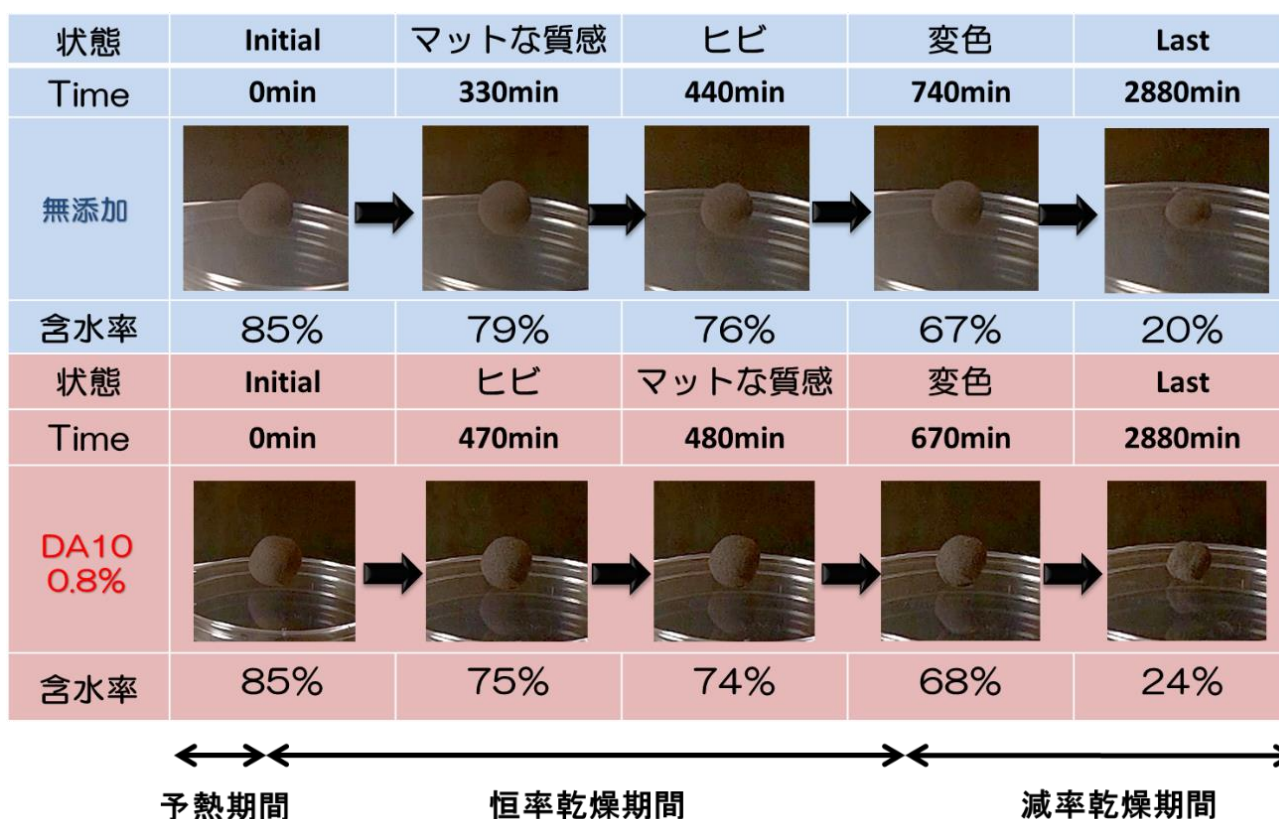


図 1 3 乾燥時の汚泥試料の変化

2-1-1-2 板状汚泥による評価

2-1-1-2-1 板状汚泥試料の作成方法

詳細な乾燥メカニズムを評価するため、板状の汚泥試料を作成し、乾燥実験を実施した。汚泥試料として、混練機で満遍なく混ぜた汚泥 2 g はかり取り、図 1 4 に示したよく洗浄したブロックパンチとダイを用いて、図 1 5 に示す要領で板状汚泥の成型を行った。この際、ブロックパンチとダイに水滴やゴミが付着していないことに注意した。試料に加わる圧力は 300N とし、10 秒間ホールドした後、取り出した。この時、試料の寸法は奥行方向に 10 mm、長手方向に 30 mm、高さ（厚さ）方向に 6 mm である。得られた板状汚泥はカッターナイフを用いて長手方向を 25 mm にカットし、実験試料とした。試料台を置いてゼロ点設定した恒温恒湿機内部（25 °C、40%）の重量計に実験試料を設置し、長手方向と高さ方向で構成される面に対してカメラを設置し、経時観察を行った。



図 14 ブロックパンチとダイ

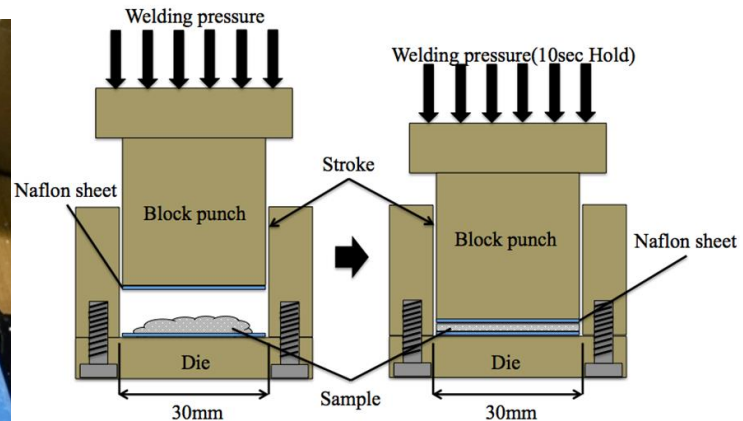


図 15 板状汚泥試料成型方法

2-1-1-2-2 板状汚泥の乾燥試験結果

図 16 に板状汚泥の重量経過曲線、乾燥特性曲線を図 17 に示す。重量経過曲線において乾燥促進剤添加による有意差は確認できなかったが、乾燥特性曲線において乾燥促進剤を添加した試料の恒率乾燥期間が短縮されていることが確認された。後述する球状試料を用いた自然乾燥実験や強制対流型乾燥実験と異なる結果となったことから、形状が乾燥速度に与える影響に起因すると推定した。また、減率乾燥期間後期の含水率 150%程度から無添加試料の乾燥速度が急速に下降し乾燥速度が乾燥促進剤添加汚泥以下となったことから、板状汚泥試料のそり量に関係していると推測した。板状汚泥の下面は試料台と接触しているため、水分の蒸発が抑制されており、試料上面と比較して高含水率となっていると考えられる。板状汚泥試料は含水率の低下に伴いそりが生じ、この汚泥のそりにより下面の湿潤な表面積が外気に露出しているものと考えられる。しかし、乾燥促進剤の添加などの外的要因によって汚泥のそり量に差が生じた場合、そりの量が多いほど、試料台との間にすき間が生じやすくなり、汚泥下面の湿潤な表面が外気に露出するため、恒率乾燥期間が延長されたと考えられる。

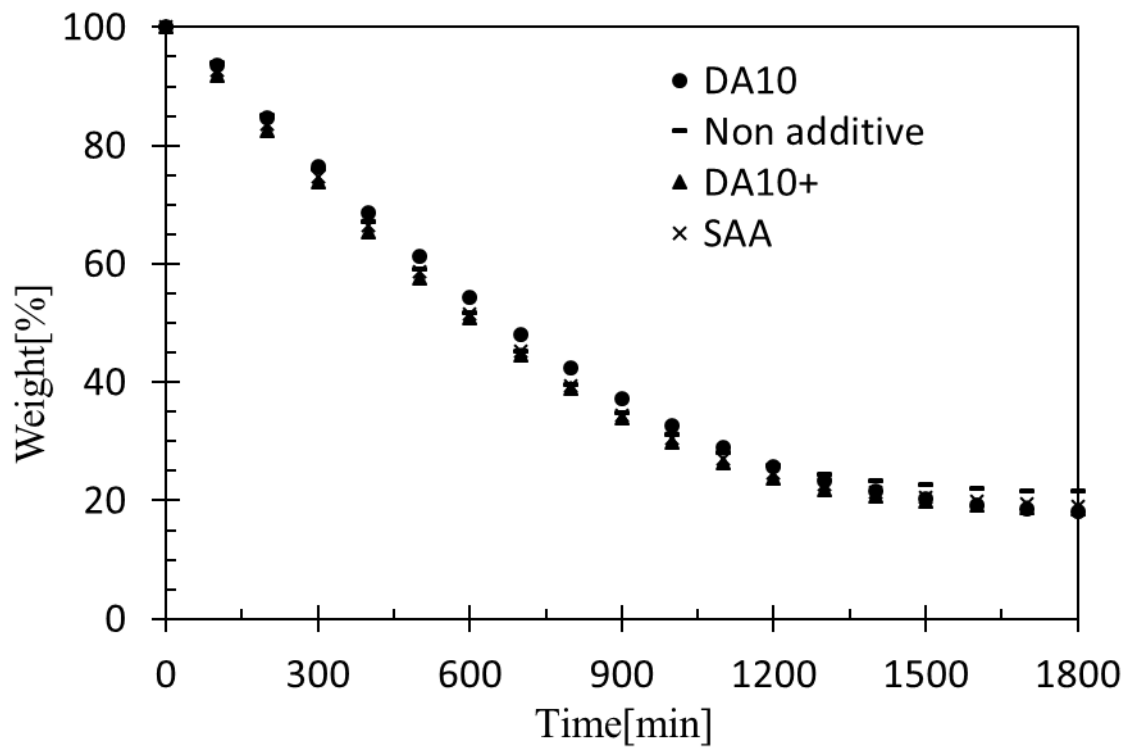


図16 板状汚泥試料重量変化

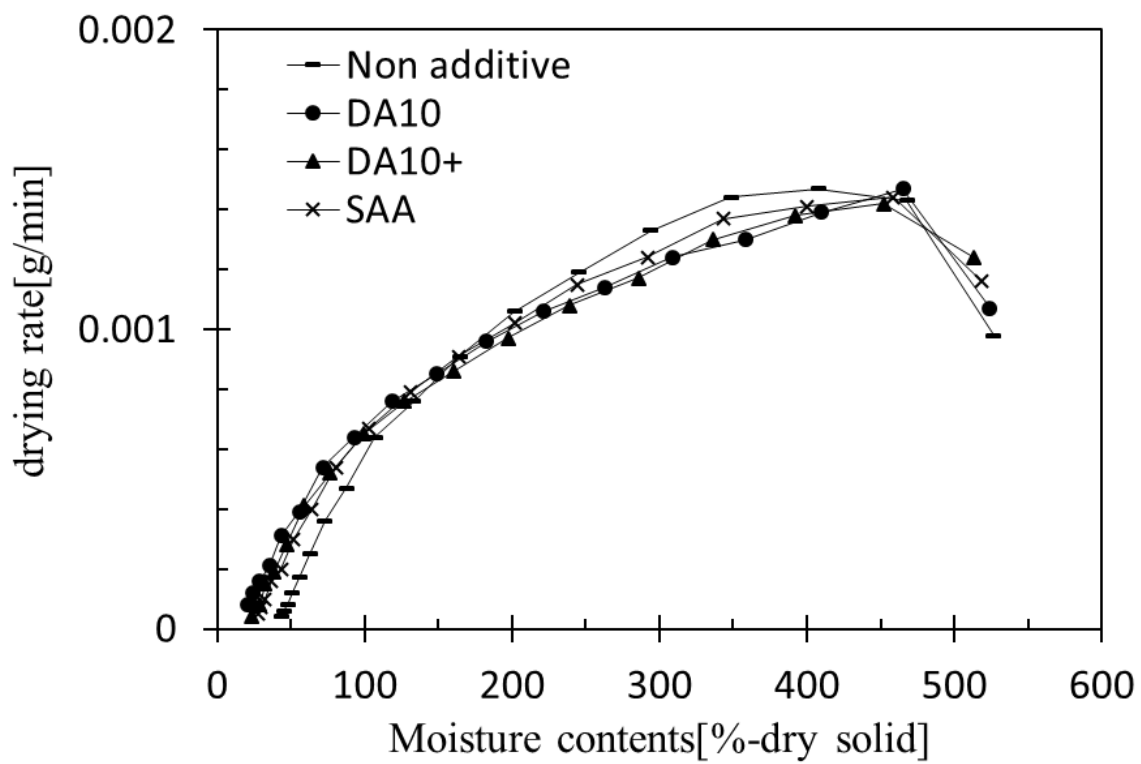


図17 板状汚泥試料の乾燥特性曲線

2-1-1-2-3 板状汚泥乾燥時の接触角経時変化

汚泥試料の乾燥に伴う化学的性状変化を観察するために板状に成型した試料を用いて蒸留水を試料に滴下し、試料との接触角を計測する接触角試験を行った。恒温恒湿機での自然乾燥途中の板状汚泥試料に対して2時間おきに蒸留水を滴下し、滴下から5秒後に恒温槽内部に設置したカメラを用いて写真撮影を行った。観測時間は計10時間である。用意した試料は、無添加試料、DA10 添加試料、DA10+添加試料、SAA 添加試料であり、添加率は全て0.8%である。また、接触角の測定箇所は図18の α 、 β 部とした。

無添加汚泥試料、DA10 添加汚泥試料に対して接触角試験を行った際の写真を図18に示す。乾燥開始直後の初期汚泥においては無添加試料、DA10 促進剤0.8%添加試料のどちらも滴下した液滴が勢いよく広がる挙動を示した。また、乾燥開始から6時間経過した汚泥試料では無添加試料に比べDA10 添加試料に撥水性が確認された。

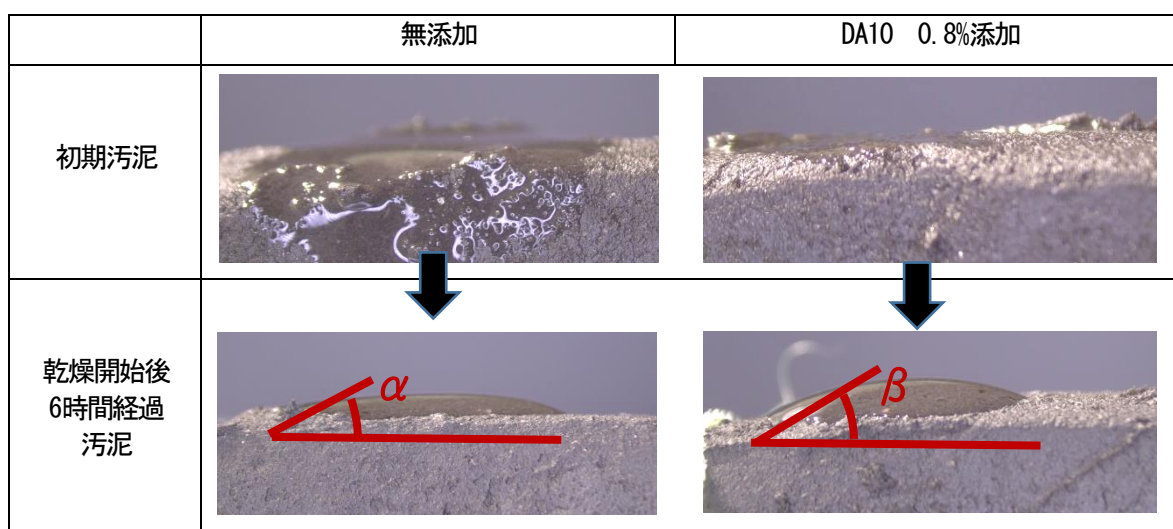


図18 接触角試験

4種類の乾燥促進剤における接触角の経時変化を示す結果を図19に示す。縦軸は接触角であり横軸は時間である。撥水性能の高い順に、DA10、DA10+、無添加試料、SAA添加試料となった。乾燥開始後2時間からDA10添加試料とDA10+添加試料が撥水性を示した。この際、無添加試料に撥水性は確認できなかったことから、乾燥促進剤DA10とDA10+には撥水性を発現する効果があるとわかる。また、接触角が時間とともに増加することから一度発現した撥水性能は時間の経過とともに向上するものと考えられた。一方、界面活性剤SAAについては、試験終了の10時間まで撥水性は確認されなかった。DA10+はDA10に界

面活性剤を0.2%添加した促進剤であるため、DA10の撥水性の発現とSAAの親水性が相殺した結果であり、親水性や疎水性が、汚泥内部の水分移動速度や汚泥表面における水分蒸発の速度に影響していると推測した。

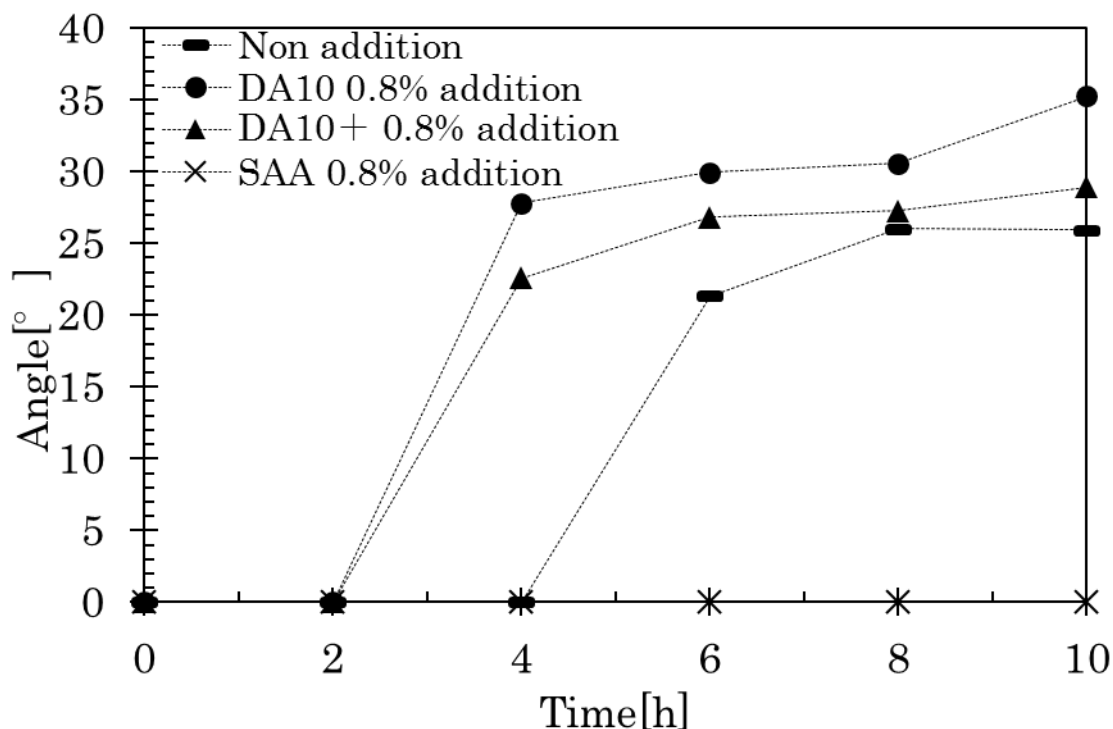


図19 接触角試験結果

2-1-1-2-4 板状汚泥のそりと汚泥含水率の関係

汚泥試料内部の水分移動速度と表面からの乾燥速度について調査するため板状汚泥のそり量を計測する試験を行った。撮影した写真をもとに乾燥促進剤の添加が汚泥のそり量に影響があるか確認した。用意した試料は、無添加試料、DA10 添加試料、DA10+添加試料、SAA 添加試料であり、添加率は全て 0.8% である。また、試験結果のプロットは1 時間毎である。

無添加汚泥試料、DA10 添加汚泥試料に対してそり量の計測試験を行った際の写真を図20に示す。写真は、乾燥初期と乾燥開始後 12 時間である。またそり量計測部は図の黄色両矢印部である。乾燥に伴い、板状汚泥にそりが生じていることが確認できる。

図21に板状汚泥試料のそり量と含水率の関係を示した。いずれの試料も含水率 350%程度までは同様にそりが続き、含水率 200%程度まで一定のそりの高さをキープしたあと減少を始める挙動を示した。一定となった際のそり量は、高い順に無添加汚泥試料、SAA 添加試料、DA10+添加汚泥試料、DA10 添加汚泥試料となった。また、乾燥促進剤無添加の試料は、試験開始後 1 時間において、乾燥促進剤添加試

料より高いそり量を示した。そりは、試料上面の乾燥に伴って発生する収縮応力により引き起こされる。また、試料は含水率の低下に伴い硬化していくことから、収縮応力と汚泥の強度が釣り合い関係に到達した際に変形が終了する。乾燥促進剤無添加の試料は、1.9mm 程度のそり量で一定値を示しており、乾燥促進剤を添加した試料と比較して高いことから長期間の変形が起こったことが見て取れる。このことから無添加試料に生じる収縮応力が含水率低下により試料に生じる強度以上となる期間が長く、乾燥促進剤の添加によって汚泥に生じる収縮応力の低下が起きたと推定した。汚泥試料上面の収縮応力は試料上面の含水率低下により生じるが、収縮応力低下の原因として「乾燥促進剤添加試料は表面からの水分蒸発が遅い」「汚泥試料内部の水分移動速度が無添加試料に比較して速く、内部の水分が表面に移動しやすいため試料上面の含水率低下を抑制した」と推測した。

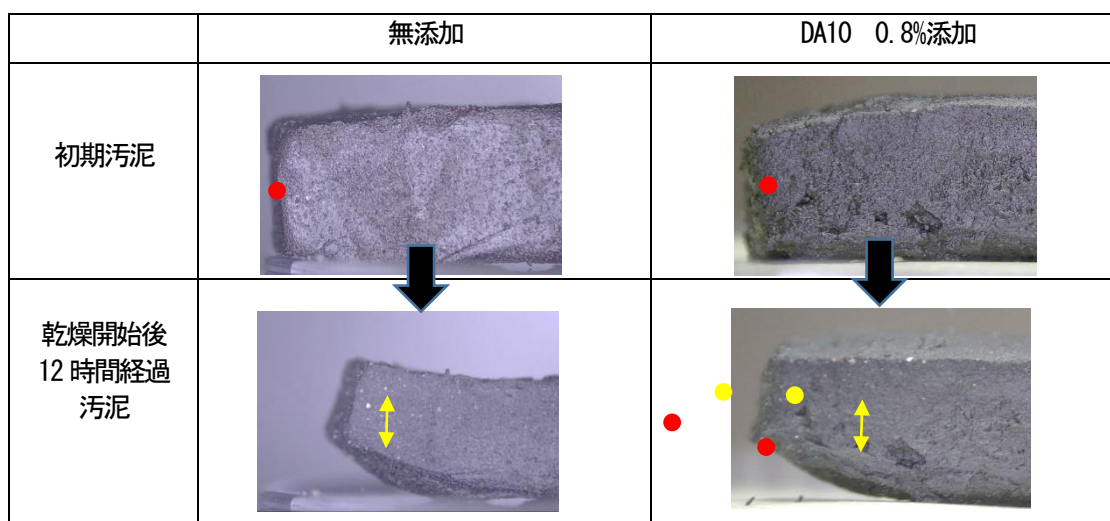


図20 板状汚泥の乾燥時の様子

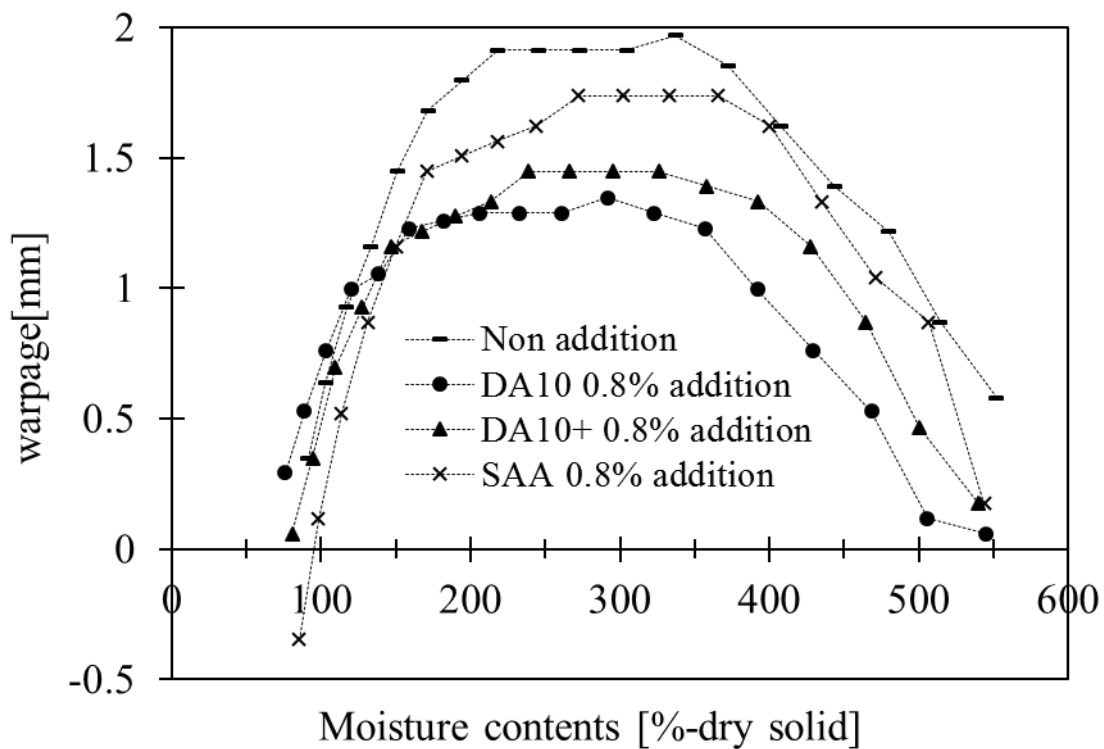


図2 1 そり試験結果

2-1-1-2-5 板状汚泥の厚みと汚泥含水率の関係

試料内部の水分移動速度について調査するため板状汚泥のそり量を計測する試験を行った。撮影した写真をもとに、乾燥促進剤の添加が汚泥の厚さ（高さ）に影響を及ぼすか確認した。用意した試料は、無添加試料、DA10 添加試料、DA10+ 添加試料、SAA 添加試料であり、添加率は全て 0.8% である。試験結果のプロットは 1 時間おきに行った。

DA10 添加汚泥試料、SAA 添加試料に対して厚みの計測を行った際の写真を図 2 2 に示す。写真は、乾燥初期と乾燥開始後 6 時間である。厚み計測部は図の黄色両矢印部であり、板状汚泥の中央となるようにした。乾燥に伴い厚みが減少していくことが確認できた。

図 2 3 に板状汚泥試料の厚みの経時変化を示す。縦軸は初期の厚みを 1 とし、厚み減少率として算出している。界面活性剤 SAA を添加した試料は厚みの減少が他試料と比較して遅く DA10 添加試料が最も速いことが分かった。

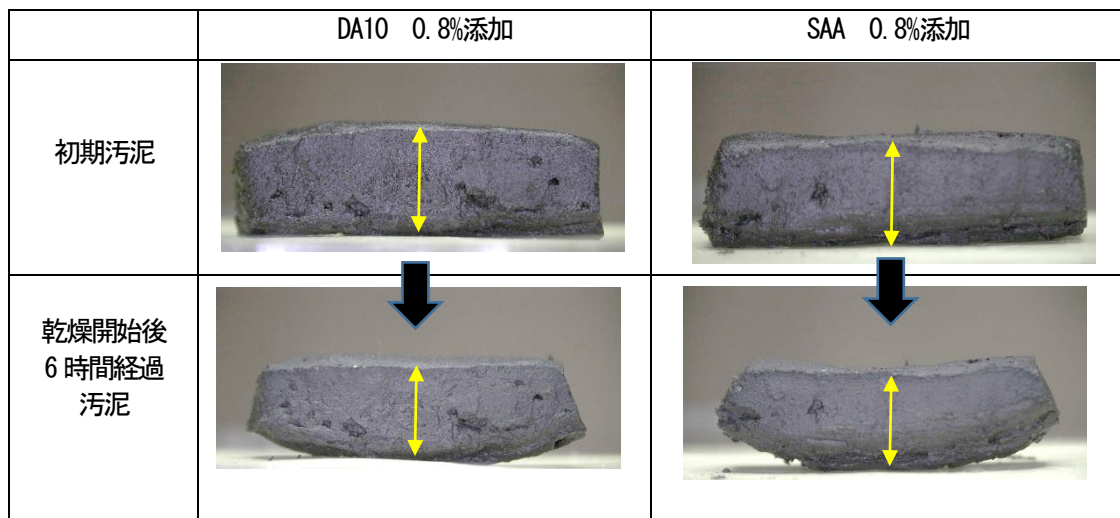


図2 2 厚さ試験

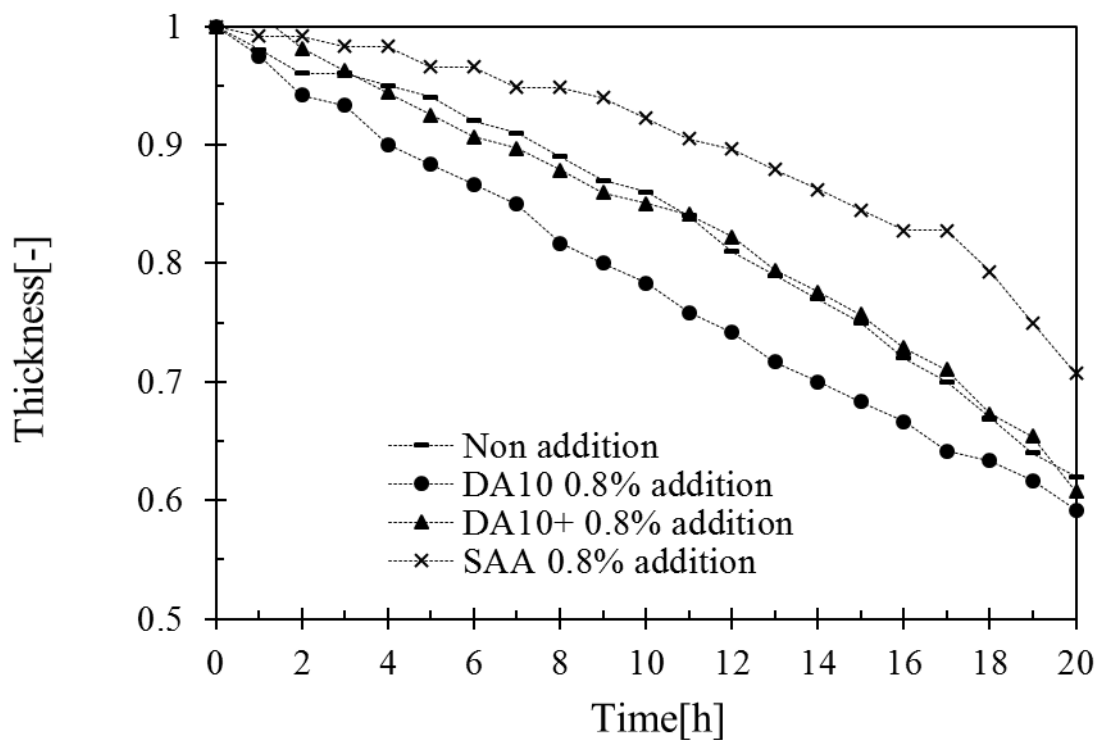


図2 3 厚さ試験結果

2-1-1-2-6 板状汚泥の乾燥メカニズム

作成時の板状試料は図2 4に示すような均等な含水率分布をしているが、試料台の上で乾燥が始まると板状汚泥試料の上面が乾燥し図2 5のように収縮が起こる。さらに含水率が低下し収縮が進行すると図2 6のようにそりが生じる。しかし、板状汚泥下面における試料台との接触部付近は乾燥が抑制されているため高含水率となり、さらに乾燥が進行するとともに赤丸箇所の水分は周囲に拡散していくため、

赤丸箇所における水分の移動速度が速ければ厚みの減少速度が高くなる。界面活性剤 SAA 添加試料については、厚みの減少が緩やかであったため、水分の移動速度が他試料と比較して遅い。界面活性剤は、汚泥内部で水分を保持しやすい性質を有することが示された。一方で、DA10 添加試料は無添加の汚泥に比べ厚みの減少速度が高いことから汚泥内部の水分移動速度を高める作用を示した。また、後述する球体汚泥試料の自然乾燥実験結果において「DA10 添加試料は恒率乾燥期間が延長される」と確認されたことから DA10 の添加は汚泥内部の水分移動速度を促進し、試料表面に水分が移動しやすくなることを示した。DA10+添加試料における厚みの推移は、DA10 と SAA の中間に位置しており DA10 の水分移動促進効果と界面活性剤の水分移動抑制効果が打ち消し合った可能性を示した。

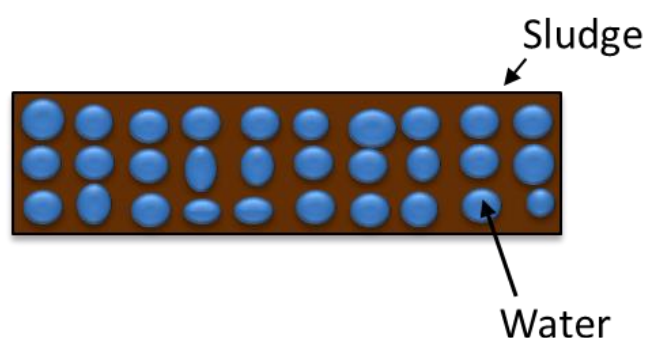


図 2 4 作成時の試料内部の水の分布

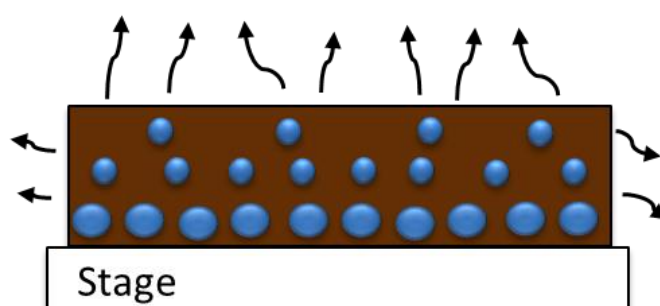


図 2 5 乾燥時の試料内部の水の分布

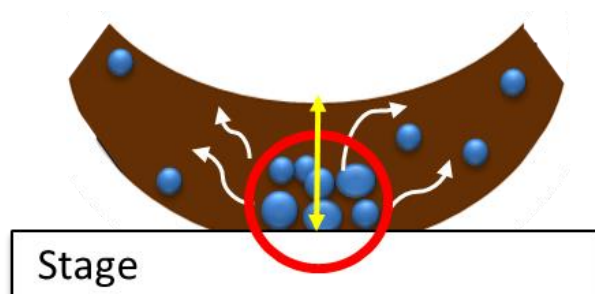


図 2 6 乾燥終盤における試料内部の水の分布

2-1-1-3 疑似汚泥の開発と自然乾燥試験による乾燥促進剤のTgと乾燥性の評価

汚泥の乾燥実験の再現性を向上するために、汚泥に近い成分として肥料、スメクタイトを配合し、初期含水率や造粒性を近づけた疑似汚泥を新たに開発した。乾燥実験は 25℃50%の恒温恒湿条件下で行い、1g 球の静置状態での乾燥実験を繰り返し行って試験の妥当性を確認した。その後、乾燥促進剤の種類を変えて、ここまでの実験から乾燥促進効果の高いDA10と界面活性剤に着目し、当初開発したDA1との乾燥性を比較した。乾燥性は含水率が20%に到達したときの時間から比較することとし、結果を図27に示す。疑似汚泥は汚泥と同様の結果を示し、乾燥促進剤未添加と比べてDA1は7%、DA10は15%の乾燥促進効果(時間の短縮)がみられた。DA10に界面活性剤を加えた水準は乾燥性がさらに促進され、未添加に比べて18%の乾燥促進効果を示した。当初想定していた「ガラス転移点(Tg)が高いほど乾燥促進効果が高い」とした仮説は、DA1、DA10のガラス転移点がそれぞれ33℃、-52℃でありDA10のほうが低く、今回の結果では関連性が認められなかった。これは上記の結果(2-1-1-2)と合わせてDA10添加が示す汚泥内部の水分移動速度の促進による試料表面への水分移動量の上昇による効果が大いいためと推定した。

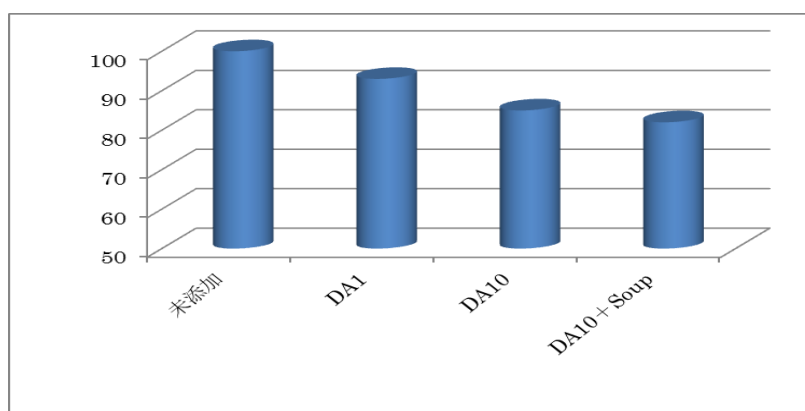


図27 未添加、DA1、DA10、DA10+界面活性剤の乾燥時間比較

2-1-1-4 汚泥と疑似汚泥の乾燥性比較

新たに開発した疑似汚泥と汚泥にそれぞれDA10及びDA10+界面活性剤を添加したときの乾燥時間を図28に示す。疑似汚泥は汚泥より含水率が20%に到達する時間が速かったが、どちらもDA10に界面活性剤を添加した方が乾燥時間は短縮し、同じ傾向を示した。

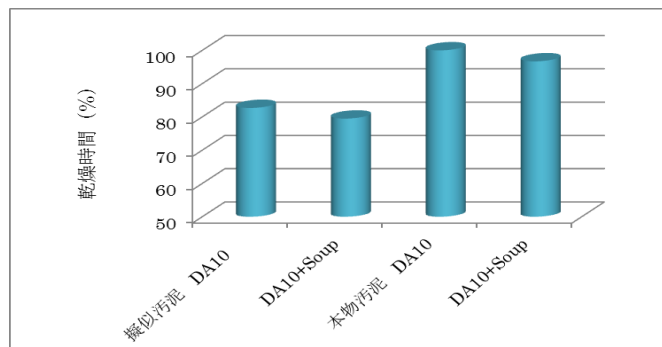


図28 擬似汚泥と食品汚泥の乾燥促進剤添加時の比較

各実験の結果から、乾燥促進効果に影響のある因子は（ア）反り量と含水率の関係、（イ）試料厚さと水部移動、（ウ）接触角試験、（エ）界面活性剤添加 が認められた。

最も影響力の大きい乾燥促進剤による乾燥促進のメカニズムは、汚泥内部の水分移動の促進作用によると結論した。

【2-1-2 乾燥条件が乾燥速度に与える影響の把握】

乾燥促進剤添加による汚泥表面のひび割れが乾燥速度を高めていることが事前実験の結果より明らかになっているものの、乾燥温度や乾燥空気流通量などの乾燥条件と汚泥乾燥速度との関係は未だ明らかになっていない。そのため乾燥温度、粒子径、乾燥促進剤添加量などの乾燥条件を変化させて静的状態における乾燥促進効果について検討を行うとともに、強制対流条件下での乾燥実験を実施し、乾燥温度、粒子径などの乾燥条件が乾燥速度に与える影響について把握し、最適乾燥条件を明確にした。

まず初めに、流通式乾燥装置を設計、製作、設置し、汚泥を模擬したドックフードを試料として強制乾燥実験を行った。流通装置のガス温度は 25 度の常温とし、1m/s のガス速度でガスを流通させた。強制乾燥実験では実験条件を確定するため、まず乾燥促進剤添加方法（添加剤なし、添加剤混合、添加剤表面塗布）を変化させ実験を行った。

その結果、自然乾燥実験と同様に乾燥促進剤を添加した場合の方が乾燥速度は速く、また促進剤を混合した場合よりも、促進剤を表面に塗布した場合の方が乾燥速度は速いことが明らかとなった。また、表面の観察を行うと明らかに乾燥促進剤を塗布した場合の方がヒビは多いことが分かった。この結果から、水分蒸発が起こっている粒子表面において乾燥促進剤が影響を及ぼしていることが示唆された。これまで想定していた乾燥プロセスにおいては乾

燥前に汚泥と乾燥促進剤を混合しておく必要があったが、乾燥前にスプレー等の噴霧によって簡便かつ低コストで促進剤を添加することが可能であることが示唆された。

次に、乾燥促進剤添加量を変化させて自然乾燥条件における乾燥促進効果について検討を行うとともに、実機乾燥装置を想定した強制対流条件下での乾燥実験を実施し、乾燥条件、特に乾燥促進剤の添加量が乾燥速度および乾燥特性に及ぼす影響について定量的な評価を行った。

図29に示すように乾燥促進剤の添加量は汚泥の乾燥速度に影響を与えていることがわかり、図30に示すように含水率20%までの乾燥時間を比較すると添加量の増大とともに汚泥の乾燥速度は速くなる傾向が見られたものの、一定量以上の乾燥促進剤添加は逆に乾燥速度の低下を招くことが分かり、乾燥促進剤の添加量には最適値が存在することが明らかとなった。

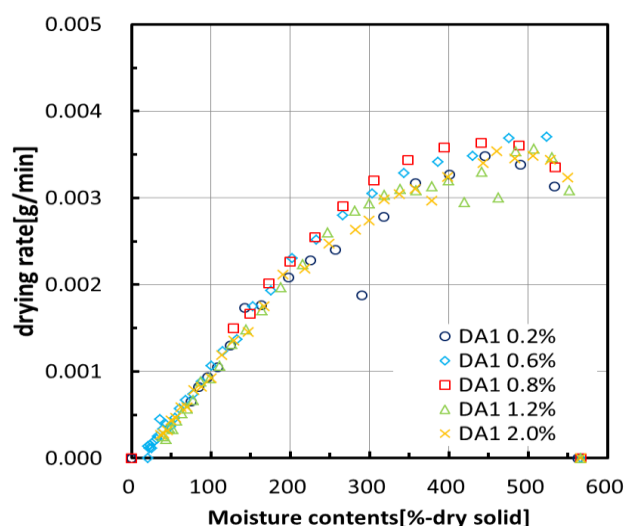


図29 乾燥促進剤の添加量の違いにおける汚泥乾燥時の乾燥特性曲線

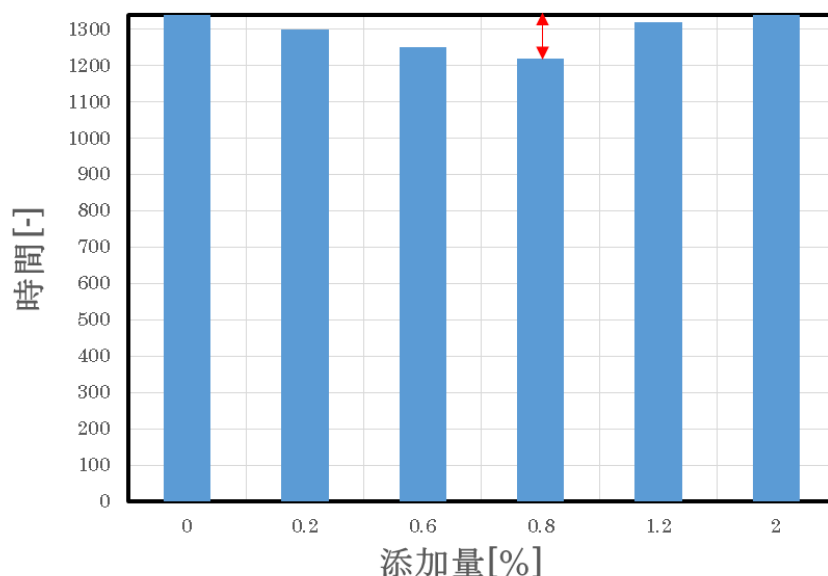


図30 乾燥促進剤の添加量と含水率20%までの乾燥時間の関係

これは、上述した汚泥内の水分移動メカニズムとも関連しており、乾燥促進剤の界面活性効果、つまり水分移動を容易にさせる効果と乾燥促進剤の縮合効果、つまり水分移動を抑制する効果が競合的に起こっているためと考えられる。定率乾燥期間における乾燥速度、水分移動メカニズムおよび乾燥促進剤の縮合メカニズムは、乾燥時の温度、湿度、風量などの外的乾燥条件が支配的因子となることから、乾燥促進剤の種類に応じて適する乾燥条件が異なることが示唆された。

強制対流乾燥実験においては、当然のことながら自然乾燥に比べて乾燥速度は大幅に向上した。図31に示すように強制対流乾燥実験においても乾燥促進剤の添加量は乾燥速度に影響を与えており、添加量に最適値が存在することが明らかとなった。また、ほぼ同様の温度条件においては自然乾燥と強制対流乾燥における添加量の最適値はほぼ変わらなかった。また、乾燥促進剤添加が乾燥速度に及ぼす効果は、強制対流乾燥実験の方が2倍程度大きいことも明らかとなっている。ただし、図29と図31を比較すると強制対流乾燥における定率乾燥期間は自然乾燥に比べて短く、乾燥促進剤を添加した場合においては高含水率での水分移動が抑制されていることが明らかとなったことから、乾燥促進剤の種類に応じて乾燥条件を決定させる必要があることが明らかとなった。

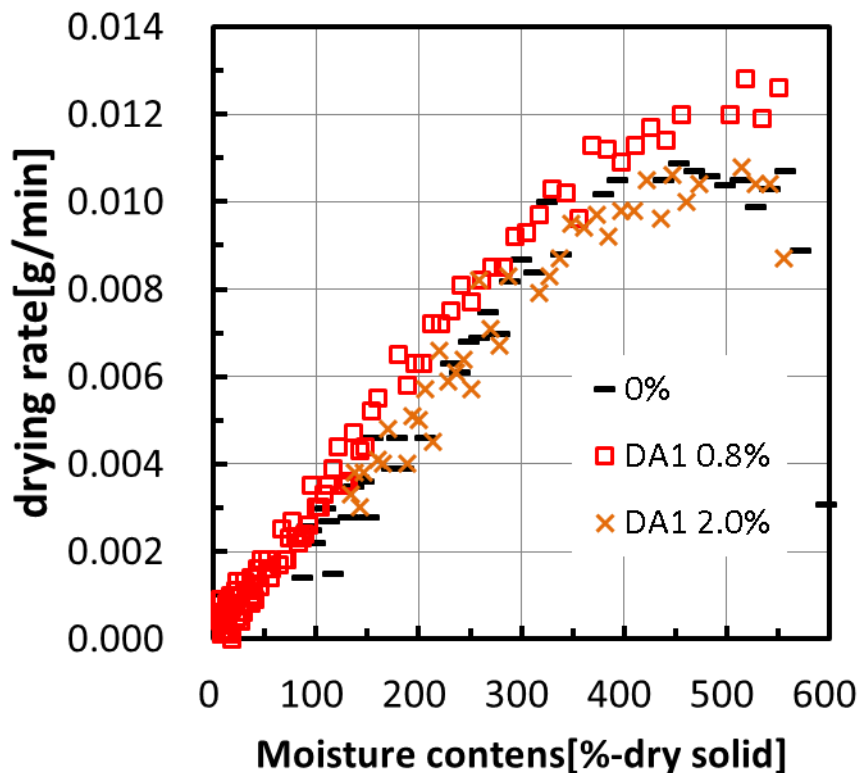


図3 1 強制対流乾燥実験における乾燥特性曲線

自然乾燥や強制対流乾燥などの乾燥条件や乾燥温度や乾燥物の大きさによって乾燥速度は大きく異なるため、乾燥条件を変化させて汚泥の乾燥実験を繰り返し行い、乾燥促進剤を添加した場合の最適な乾燥条件を把握した。

2-1-2-1 乾燥温度の影響について

後述する 25 °Cでの乾燥実験に対して、温度の影響が汚泥の乾燥特性に与える影響を調べるため、温度 40 °C、相対湿度 40% の条件下で無添加試料、DA1 添加試料、DA10 添加試料を用いて自然乾燥実験を行った。添加率は全て 0.8%である。試料は、混練機で満遍なく混ぜた後、転動造粒装置を用い球状に丸めた。乾燥前汚泥試料は 5 g、粒子径は 2 cmとした。

得られた重量データから算出した乾燥特性曲線を図 3 2に示す。プロット間隔は 10 分ごととした。DA1 添加試料は、無添加の試料に対して 140 min 程度の恒率乾燥期間の延長が確認された。25°C下の自然乾燥実験では確認されなかったことから、温度がDA1 の乾燥時の挙動に影響を及ぼしたと考えられる。DA1 の添加は試料表面積を増加させると考えられたが、乾燥特性曲線に無添加試料との有意差は確認できなかったことから乾燥阻害要因の存在が示唆された。強制対流型乾燥実験では乾燥特性曲線に恒率乾燥

期間の延長という有意差が生じたことから、阻害要因による乾燥抑制効果に対して乾燥表面積の増加による影響が支配的であることが予測された。また、DA10 添加試料の仮想特性曲線に有意差は確認されず、こちらも 25℃下の自然乾燥実験と異なる結果となった。温度が DA10 の乾燥時における状態に影響したと考えられるため、DA1 と DA10 乾燥促進剤を単体で 25℃、40℃下における乾燥実験を行い樹脂の乾燥挙動を把握する必要があると思われる。

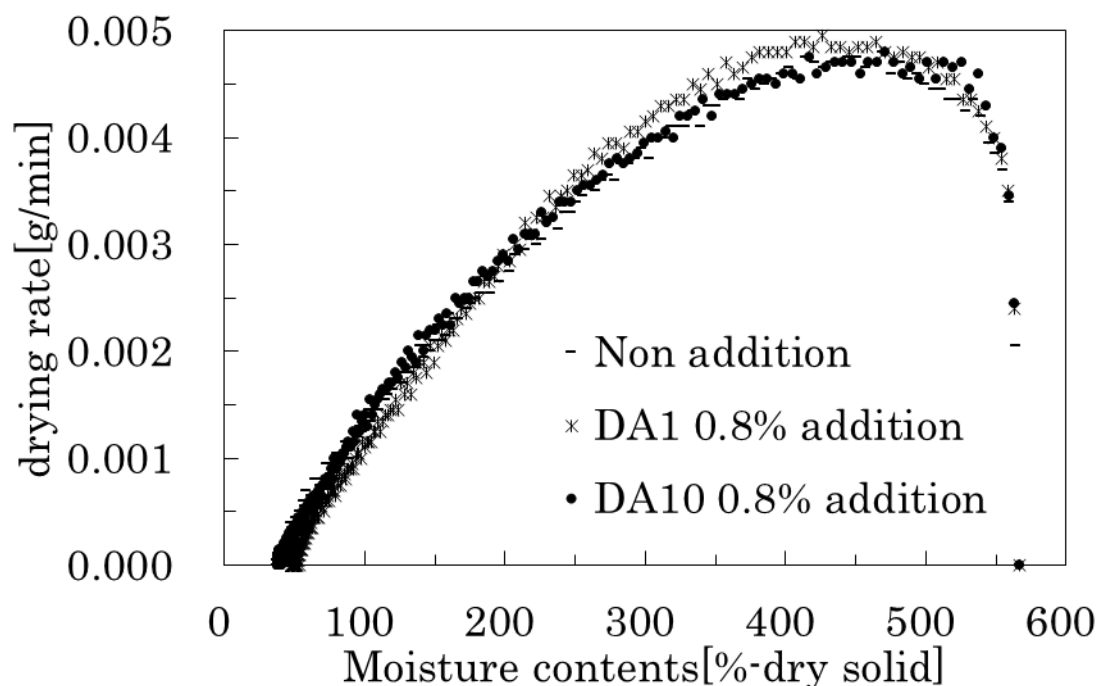


図3 2 環境温度 40 °Cでの乾燥特性曲線

2-1-2-2 汚泥粒子径の影響

汚泥内部の水分移動速度について調査するため、2 g 球と 8 g 球で自然乾燥試験を行った。試料は無添加試料、DA10 添加試料、DA10+添加試料、SAA 添加試料であり添加率は全て 0.8%とした。試料は、混練機で満遍なく混ぜた後、転動造粒装置を用い球状に丸めた。恒温度恒湿機を用いて実験を行い、条件は温度 25℃、相対湿度 40%とした。2 g 球の粒子径は 15 mm、8 g 球の粒子径は 27 mm である。

2 g 球試料の乾燥特性曲線を図 3 3、8 g 球試料の乾燥特性曲線を図 3 4に示す。DA10 添加試料に恒率乾燥期間の延長が確認された。しかし、8 g 球での乾燥実験では有意差は確認されなかった。単位重量当たりの表面積は 2 g 球試料が大きく、8 g 球試料が小さいことから試料の表面が DA10 の乾燥促進効果と関連していると考えられる。

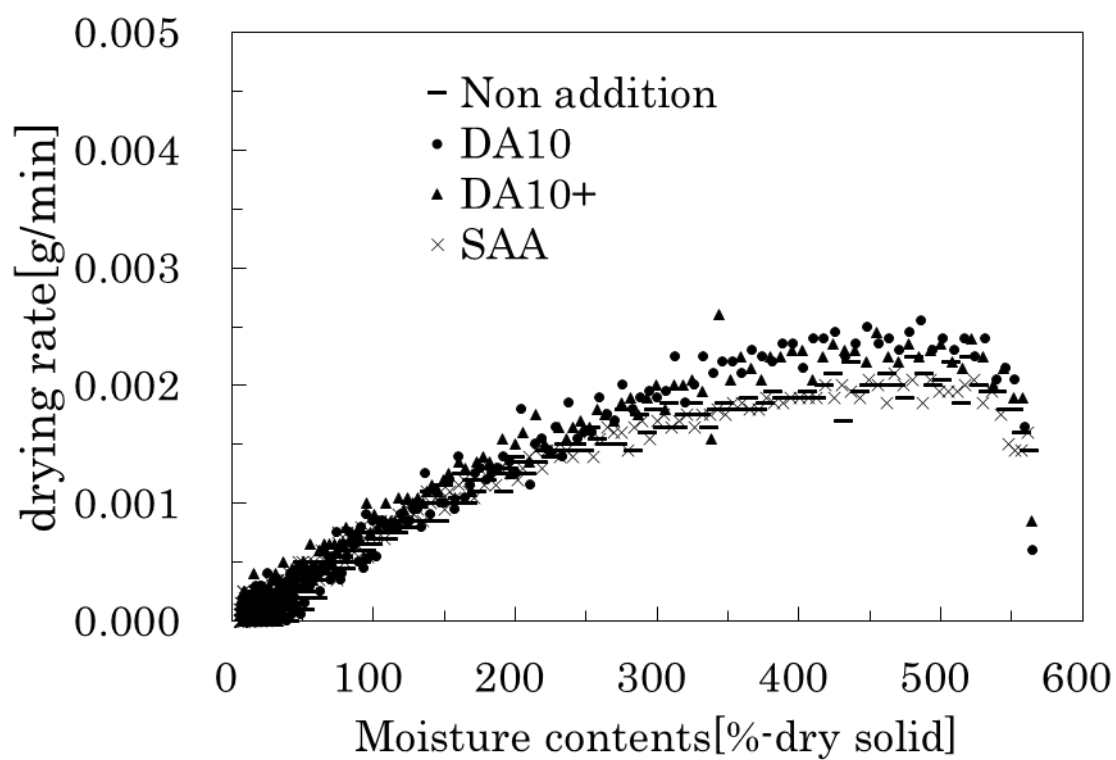


図3 3 汚泥試料の重量が2g 時の乾燥特性曲線

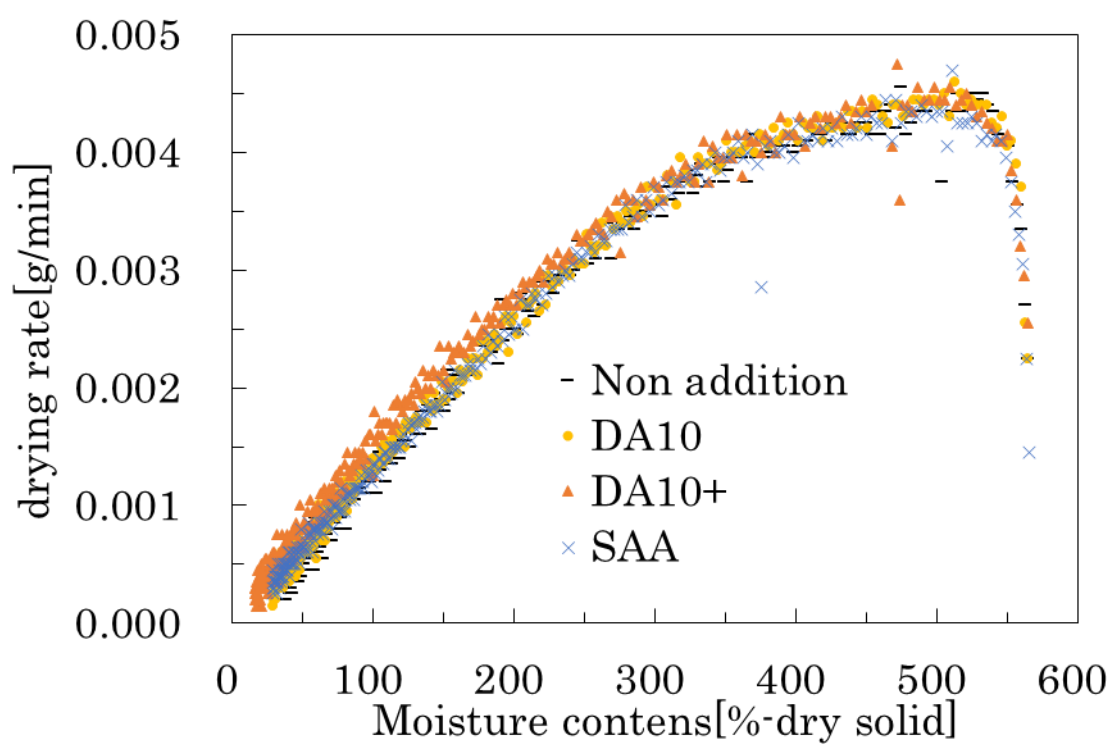


図3 4 汚泥試料の重量が8g 時の乾燥特性曲線

2-1-2-3 強制対流乾燥

2-1-2-3-1 実験装置および実験方法

強制対流型乾燥実験では事業化において想定している乾燥プロセス（図35）を想定しているため、低熱温風を発生させる図36に示す強制対流乾燥装置を作成した。強制対流乾燥装置はコンプレッサー、流量計、ヒーター、污泥試料乾燥用ダクトおよび重量計より構成されている。コンプレッサーから送り出される空気は流量計で 50 L/min に調節し、ヒーターで加熱後、ダクト内部を通り污泥試料を乾燥する構造となっている。試料近傍の温度は熱電対にて計測し、ヒーターの調節を行った。乾燥条件は試料近傍温度が 40℃となるようヒーターを 50℃に設定した。試料近傍温度が 40℃に到達し、定常状態になるまで 10 min 程度かかるためヒーターとコンプレッサーの電源を入れ、予熱をしている。重量計は高さ調節が可能な台上に設置し、重量計の上に試料台と球状污泥試料を置き、ロガーを用い自動で重量測定を行った。試料重量、粒径は自然乾燥実験と同様ですべて 5 g 球とし、粒径は 20 mm である。

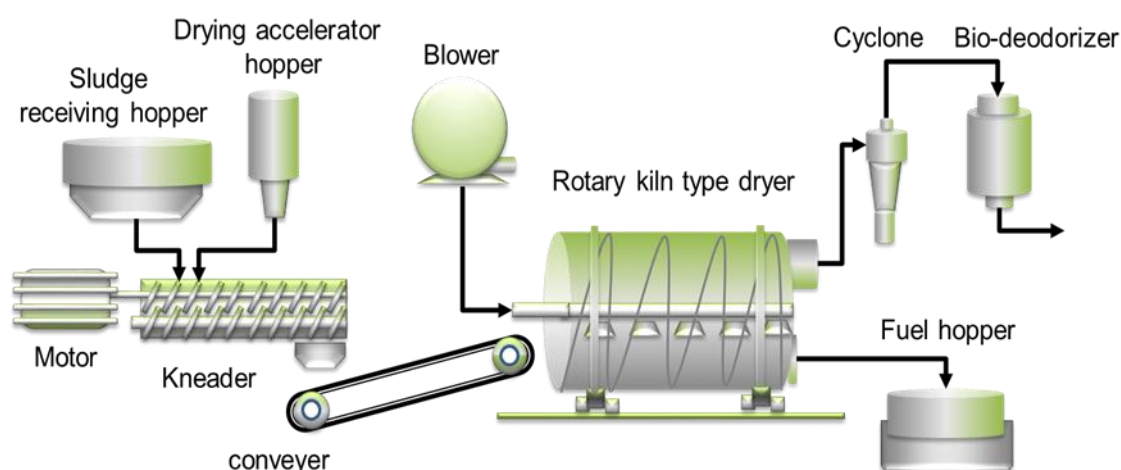


図35 想定する燃料化のための省エネルギー乾燥プロセス

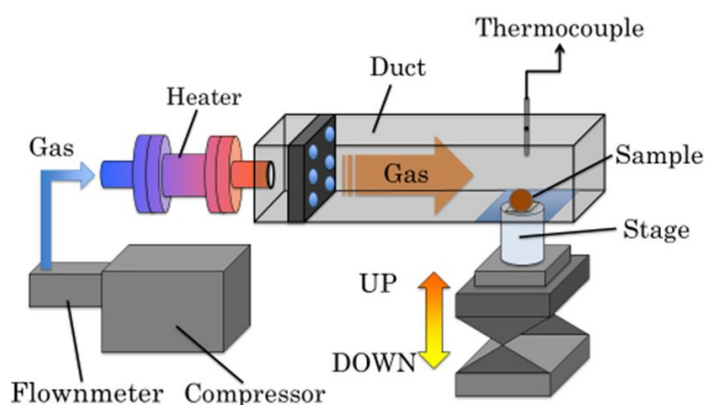


図36 強制対流乾燥装置概略図

2-1-2-3-2 強制対流乾燥における乾燥促進剤種類の影響

強制対流型乾燥実験装置を用いて実験を行った無添加乾燥前汚泥試料と無添加乾燥後汚泥試料の写真をそれぞれ図37と図38に示す。乾燥後試料は試料全体が収縮し、ひび割れが見受けられた。自然乾燥実験における乾燥後無添加試料と比較するとより変形が大きくひび割れが多いことがわかる。

強制対流型乾燥実験の乾燥促進剤種類比較実験における重量変化曲線を図39に示す。DA1 添加汚泥試料、DA4 添加汚泥試料、DA7 添加汚泥試料、DA10 添加汚泥試料が無添加試料に比べ乾燥促進効果があることがわかる。乾燥促進剤 DA10 添加試料は自然乾燥実験と同様、高い乾燥促進効果を示した。また、DA1 添加試料においても乾燥促進効果が確認できた。

乾燥特性曲線を図40に示す。DA1 添加汚泥試料、DA4 添加汚泥試料、DA10 添加試料において恒率乾燥速度の向上が確認された。また、DA7 添加試料は恒率乾燥期間の延長が確認された。自然乾燥実験と異なる結果であることから、強制対流が乾燥特性に影響したと考えられる。

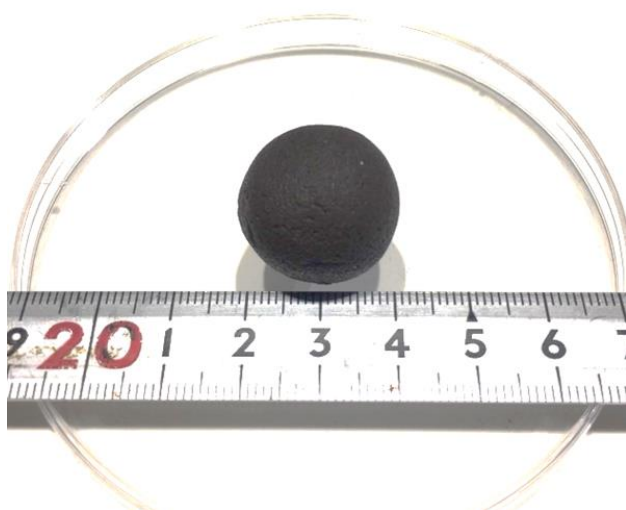


図37 無添加乾燥前汚泥試料



図38 無添加乾燥後汚泥試料

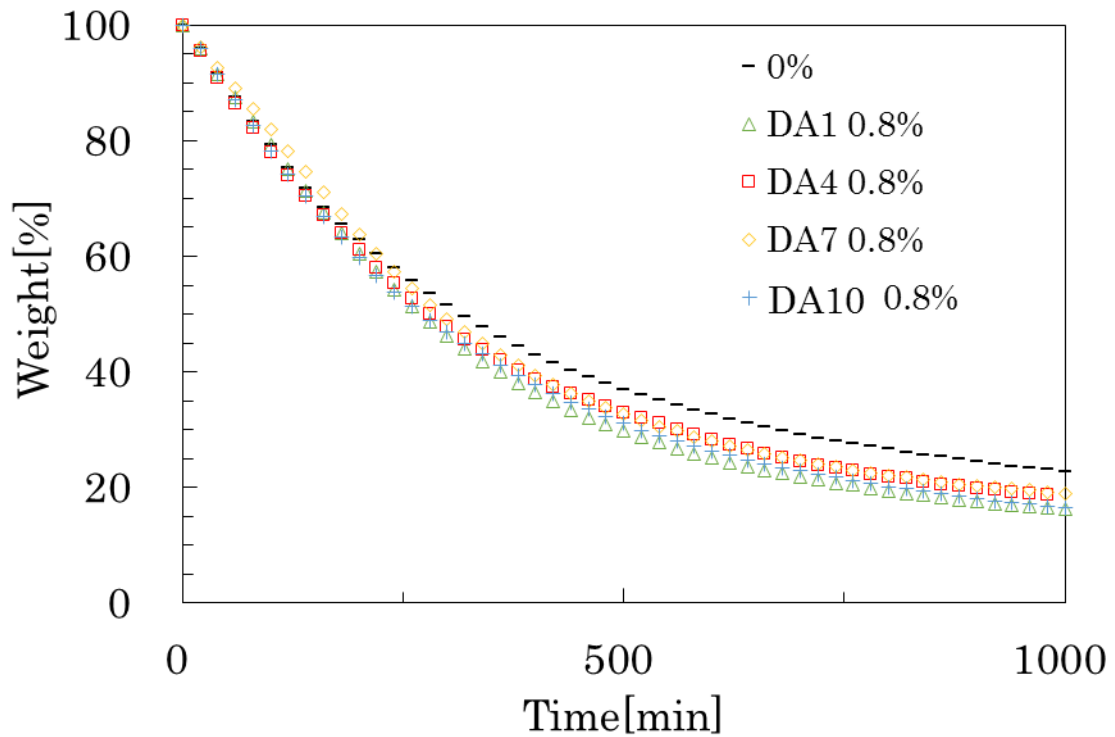


図 3 9 強制対流乾燥における汚泥試料の重量変化率(促進剤比較)

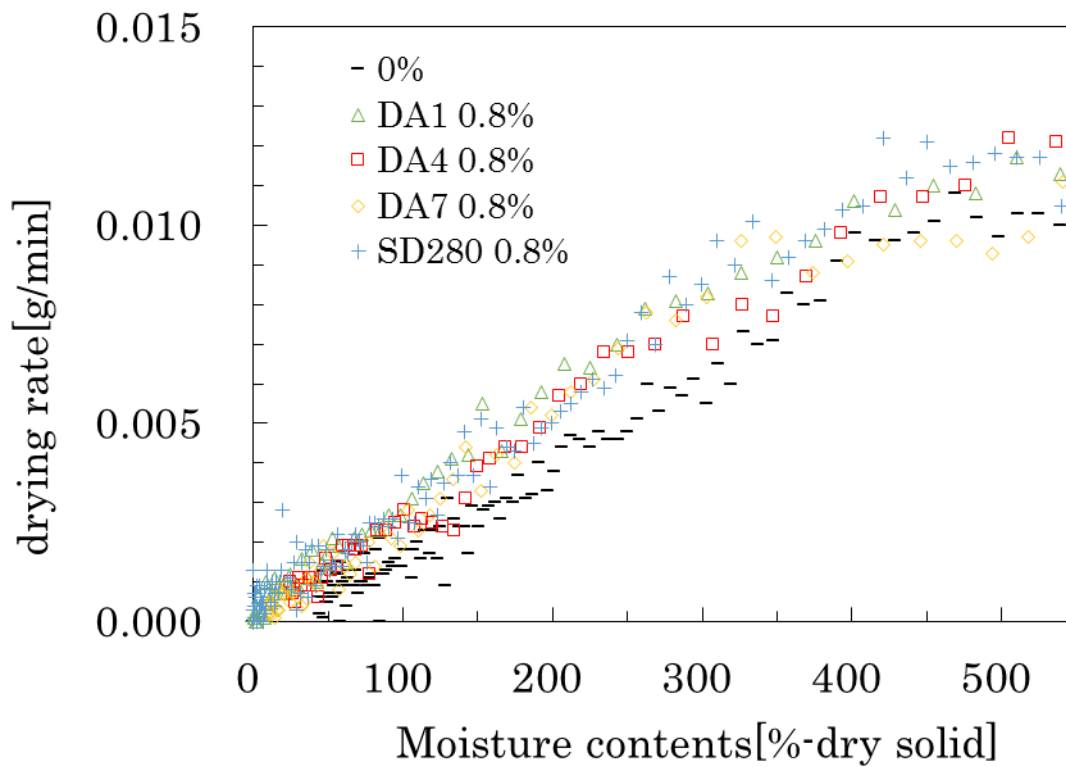


図 4 0 強制対流乾燥における汚泥試料の乾燥特性曲線 (促進剤比較)

2-1-2-3-3 強制対流乾燥における乾燥促進剤添加量の影響

乾燥促進剤添加量比較試験における重量経過曲線を図4-1に示す。また、強制対流型乾燥実験における乾燥促進剤DA1 添加汚泥試料の乾燥特性曲線を図4-2に示す。乾燥促進剤無添加試料、0.8%添加汚泥試料に比較して2.0%添加汚泥試料の恒率乾燥速度、減率乾燥速度が低いことから、乾燥促進剤の過剰添加が必ずしも乾燥促進に繋がるとは限らず、乾燥を阻害することが明らかとなった。

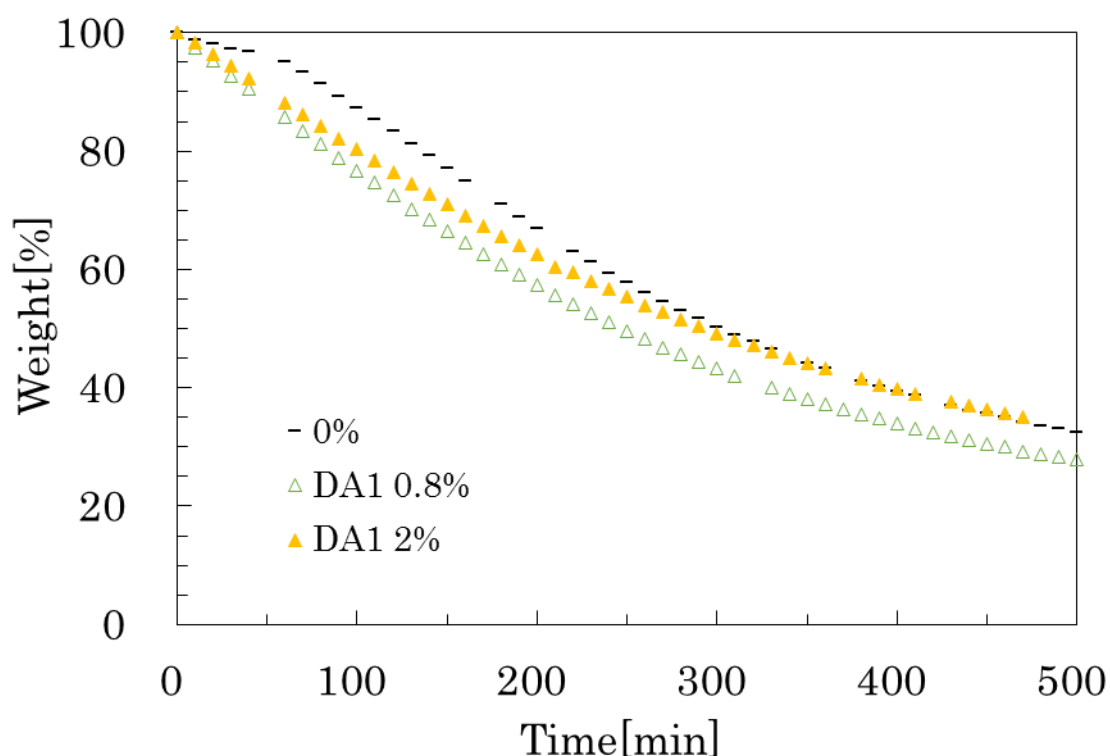


図4-1 強制対流乾燥における汚泥試料の重量変化率（添加量比較）

また、汚泥へのDA1 添加による乾燥阻害要因は「汚泥内部の水分移動速度を抑える」「汚泥表面からの乾燥を阻害する」2つの可能性を述べたが、DA1の過剰添加により強制対流下においてもこれらの要因が支配的となったと考えられた。DA1の添加は自然乾燥実験と比べて無添加試料に対する乾燥促進効果が大きいことがわかったため、強制対流により乾燥特性に影響があると考えられる。

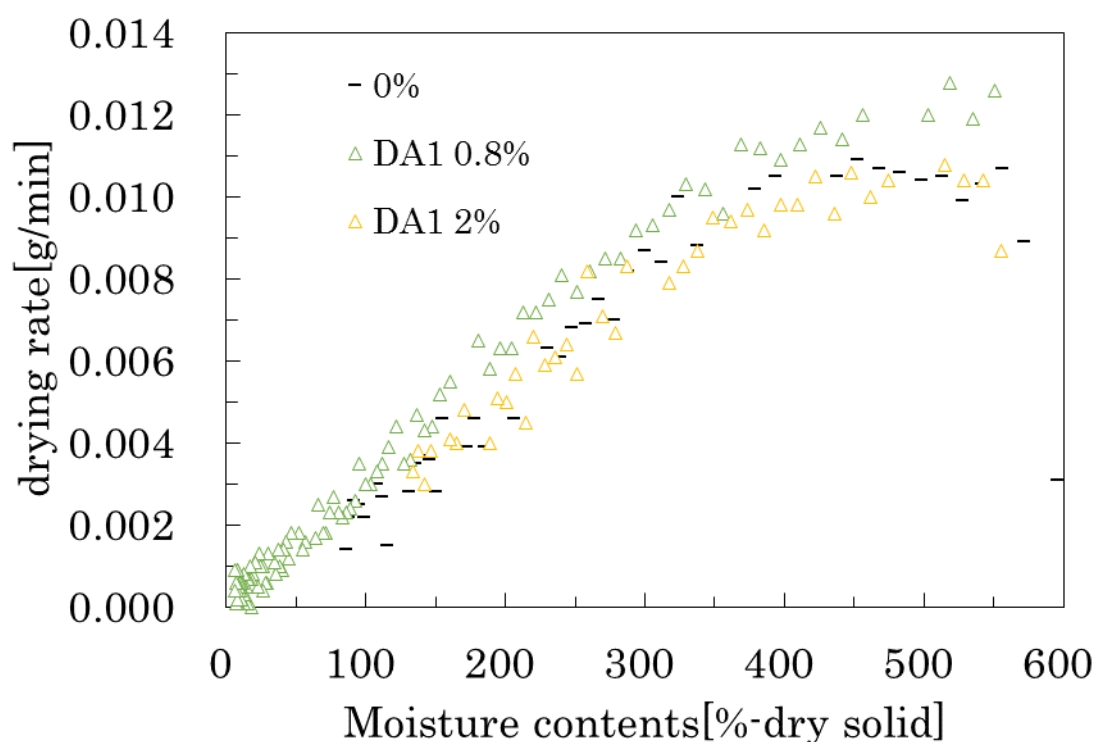


図 4 2 強制対流乾燥における乾燥特性曲線（添加量比較）

【2-1-3 乾燥促進および乾燥に効果的に作用するひび割れを発生させる乾燥促進剤の開発】

乾燥促進剤の種類および添加量を変化させることで、乾燥物の性状や乾燥速度に与える影響について検討を行うことで、汚泥乾燥において最適な促進剤の選択を行った。

まず初めに流通式乾燥装置に変わって低温恒湿恒温槽を用いて、温度および湿度が既知の条件下において乾燥特性を把握した。

乾燥促進剤の主成分である水系エマルジョンの樹脂種類や添加量が汚泥の乾燥促進に与える影響を調査するために、乾燥速度と乾燥汚泥の表面状態を観察した。汚泥は実際の食品残渣からサンプリングした試料を用いて実験を行ったところ、樹脂種類の中でアクリル系エマルジョンは他の樹脂種類より乾燥速度が速く、このときのひび割れの個数が他の汚泥に比べて大幅に増大していることが観察できた。アクリル系では T_g （ガラス転移点温度）の高い樹脂は乾燥速度が速い結果が得られ、一方で近似構造であるスチレンアクリル系は T_g に関わらず高い乾燥速度を示したことから樹脂系による極性の違いなど乾燥速度に大きく関連する新たな指標が示唆された。この結果を受けて異なる乾燥促進剤を用いて汚泥の乾燥実験を実施し、乾燥促進剤種類が汚泥乾燥速度に与える影響について定量的な評価を行った。乾燥

促進剤（樹脂）のT_g（ガラス転移点）に着目し、ガラス転移点の異なる樹脂を添加し汚泥の乾燥実験を行うことで、汚泥乾燥に対して最適な促進剤種の選定を行った。

表8に示すようなガラス転移点が最小－52℃から最大98℃の間を示す5種類の乾燥促進剤を添加した。この候補は乾燥促進剤の予備試験として評価した中から促進効果の高いものを選定した。これらの乾燥促進剤を添加して自然乾燥実験を実施したところ、図4-3に示すようにガラス転移点が－58℃のDA10 乾燥促進剤の添加が最も高い乾燥促進効果が得られた。

表8 汚泥乾燥に用いた乾燥促進剤

乾燥促進剤	ガラス転移点(℃)	最低造膜温度(℃)	樹脂固形分(%)
DA01	-28	0	54
DA1	33	0	33
DA4	41	55	46
DA7	98	80	46
DA10	-52	—	55

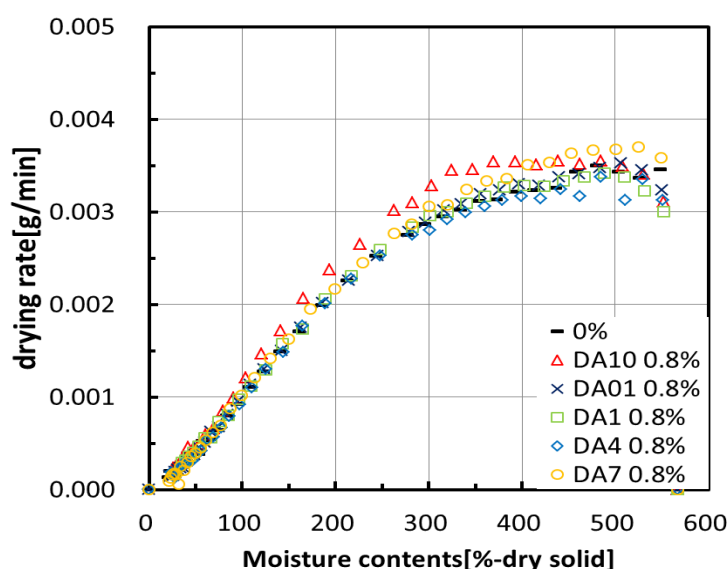


図4-3 乾燥促進剤種の違いによる汚泥乾燥時の乾燥特性曲線（自然乾燥）

また、図4-4に示すように強制対流乾燥実験でも同様に、DA10 乾燥促進剤の添加が最も乾燥促進効果が高い結果を示した。しかしながら図4-5に示すように自然乾燥時においては乾燥促進効果とガラス転移点に相関関係が見られなかったことから、乾燥促進剤のガラス転移点が乾燥速度に与える効果は限定的であり、上述したように「乾燥促進剤の界面活性効果による汚泥内部の水分移動速度の促進と試料

表面への水分移動量の上昇」と「体積収縮による汚泥中水分移動の影響」が大きいと推定した。ガラス転移点が乾燥速度に影響を与えていないことを明確にするため、さらに異なるガラス転移点の乾燥促進剤の添加を試みるとともに、界面活性効果の高い乾燥促進剤を用いて汚泥の乾燥実験を実施し、汚泥の乾燥に対して最適な乾燥促進剤を選定することとした。

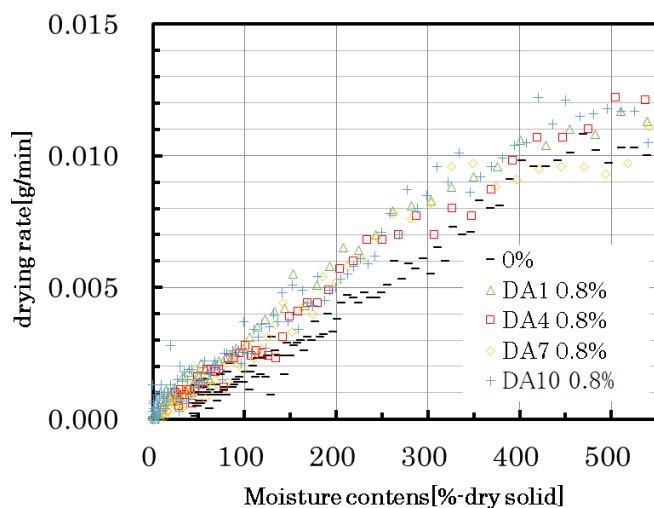


図 4 4 乾燥促進剤種の違いによる汚泥乾燥時の乾燥特性曲線（強制対流乾燥）

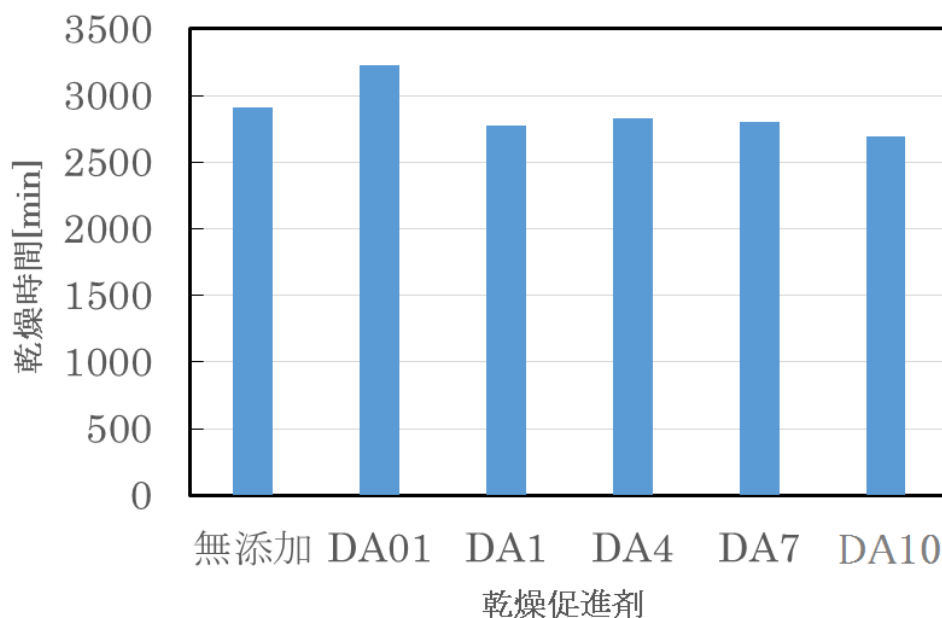


図 4 5 乾燥促進剤種と含水率 20%までの乾燥時間の関係

乾燥促進剤の種類や添加量による乾燥促進効果や乾燥速度、乾燥時の挙動を明らかにするために、先ほど選定した 5 種類の乾燥促進剤を添加したときの乾燥促進剤が乾燥速度に与える影響を把握するとともに、乾燥促進剤の添加量を変化させて乾燥速度および乾燥挙動に与える影響について把握した。

2-1-3-1 促進剤種類の影響

乾燥促進剤の種類が汚泥の乾燥に与える影響を調べるため乾燥促進剤の種類を変更した自然乾燥実験を行った。試料は6検体用意し、ロガーを用い自動で重量測定を行った。なお、機器内の温湿度条件は温度 25 °C、相対湿度 40%とした。試料は無添加試料、DA01 添加試料、DA1 添加試料、DA4 添加試料、DA7 添加試料、DA10 添加試料である。添加率は全て 0.8%である。また、乾燥前汚泥試料は 5 g 球、粒径は 2 cm である。

自然乾燥実験で得られた重量データから汚泥試料の重量経過曲線を図 4 6 に示す。100 分ごとにプロットし、縦軸は計測時重量を初期重量で割り百分率で表した。DA10 を 0.8%添加した試料が乾燥開始時から 500 min 後に重量減少率が大きくなり、乾燥促進剤無添加の試料に比べ最大で約 5%の乾燥促進効果が確認された。

図 4 7 に乾燥特性曲線を示す。縦軸は乾燥速度であり、1 分間あたりの重量減少を示す。横軸は含水率 (Dry base) を取ったものである。こちらも重量経過曲線と同様に 100 分ごとにプロットした。初期汚泥質量 5 g、含水率 P% (Wet base) 試料の含水率 (Dry base) は以下の手順で求めた。W は経時重量データから算出する。

$$P = W / ((1 - 0.85) \times 5) \times 100 \quad (4)$$

P: 含水率 (Dry base) [g/g-dry solid] W: 選択時間における試料が内包する水分量 [g]

DA10 添加試料は、恒率乾燥期間が無添加試料や他樹脂添加試料より長くなり、限界含水率の低下が確認された。200 min 以降において無添加試料や他樹脂添加試料は減率乾燥期間となるが、DA10 添加試料は恒率期間が約 500 min 持続し、高い乾燥速度を維持している。さらに、減率乾燥期間においても他試料よりも乾燥速度が高いという結果が確認されたことから、DA10 の添加により汚泥中の水分の移動速度が向上し、乾燥促進に繋がったと考えられる。

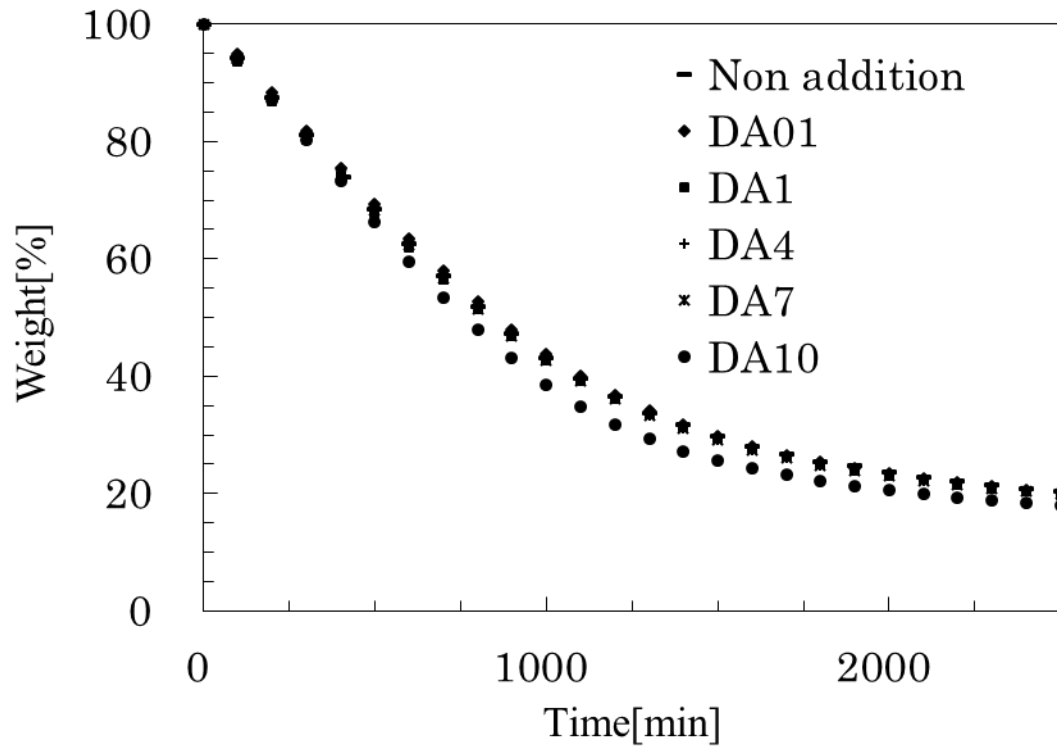


図4-6 自然乾燥における汚泥試料の重量変化率（促進剤比較）

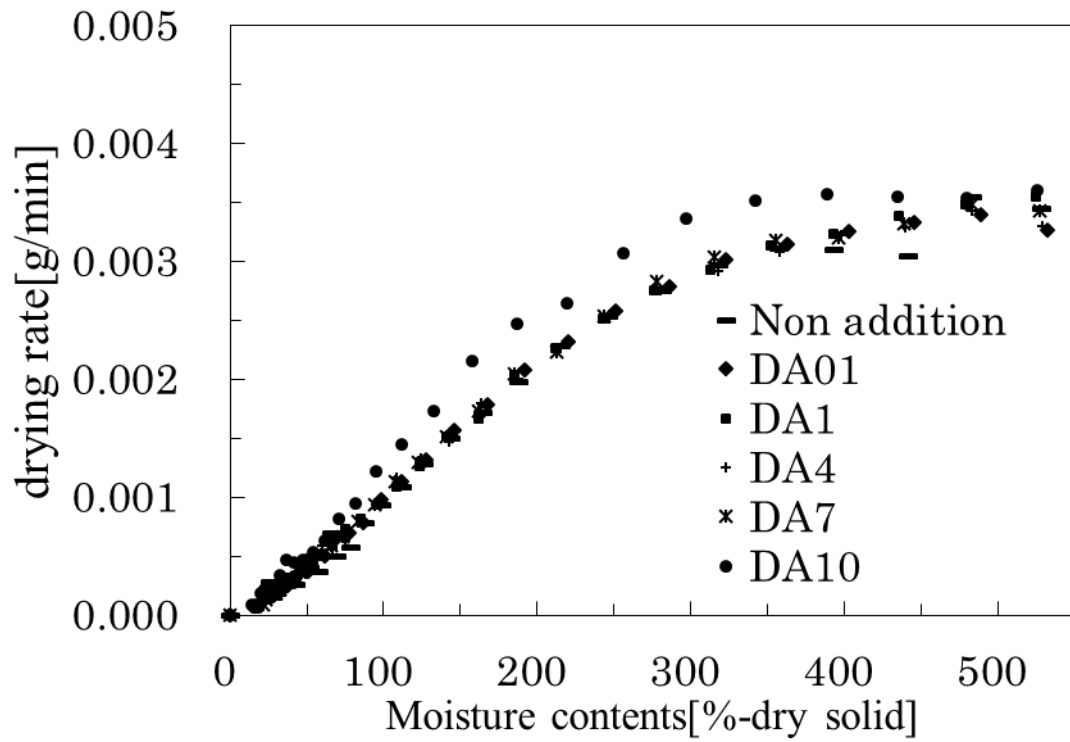


図4-7 自然乾燥における汚泥試料の乾燥特性曲線（促進剤比較）

2-1-3-2 促進剤添加量の影響

DA1 添加試料、DA10 添加試料について添加率における乾燥速度の違いを確認するため、乾燥促進剤の添加量比較実験を行った。恒温恒湿機における温湿度条件は温度 25℃、相対湿度 40%とした。DA1 添加試料の添加率は 0.2%、0.6%、0.8%、1.2%、2%であり、乾燥促進剤無添加の試料と DA1 乾燥促進剤を 0.8%添加した試料の実験終了後乾燥物の写真を撮影し、形状の比較を行った。DA10 添加試料の乾燥促進剤添加率は 0.4%、0.8%、1.2%、1.6%である。試料は、混練機で満遍なく混ぜた後、転動造粒装置を用い球状に丸めた。乾燥前汚泥試料は 5 g、粒径は 2 cm である。

自然乾燥実験における乾燥促進剤 (DA1) の 0-2.0%添加汚泥試料の重量変化を図 4 8 に示す。50 分ごとにプロットしてあり、縦軸は計測時重量を初期重量で割り百分率で示し、横軸には時間 [min] を取った。また、含水率 55%になるまでの時間を確認すると、DA1 を 0.8%添加した試料が無添加の試料に比べ約 120 min 乾燥時間が短縮され、最も高い乾燥促進効果があることが確認できた。

無添加試料と DA1 を 0.8%添加した試料の乾燥前汚泥試料と乾燥後汚泥試料の写真を図 4 9 に示した。どちらも乾燥後汚泥試料は乾燥前汚泥試料に比べ試料全体が収縮し、ひび割れが見受けられるようになった。また、0.8%添加汚泥試料は無添加汚泥試料に比べ、そばだっている様子が確認され、乾燥後汚泥試料を比べるとひび割れが大きくなっていることが確認できる。このひび割れは乾燥促進剤 DA1 の「表面乾燥が遅く皮張りが少ない」という特徴に起因すると考えられた。汚泥の乾燥は外気と接する汚泥球表面から進行し、乾燥に伴って表面から硬化すると考えられる。また、前述したように乾燥途中の汚泥試料内部を観察した際には内部に含水率が高い汚泥が確認できたことから水分の移動速度が律速段階であると考えられる。DA1 の「表面乾燥が遅い」という特徴から、DA1 添加汚泥試料は表面の湿潤期間が長いと考えられ、湿潤状態にある汚泥表面は無添加試料に比べ強度が低くなることから汚泥の変形可能な期間が長期化したと考えられる。変形期間が長くなると DA1 を 0.8%添加した試料の乾燥後試料写真のように試料の変形量が大きくなることで試料の表面積が増加し、乾燥速度の向上に繋がったと考えられる。

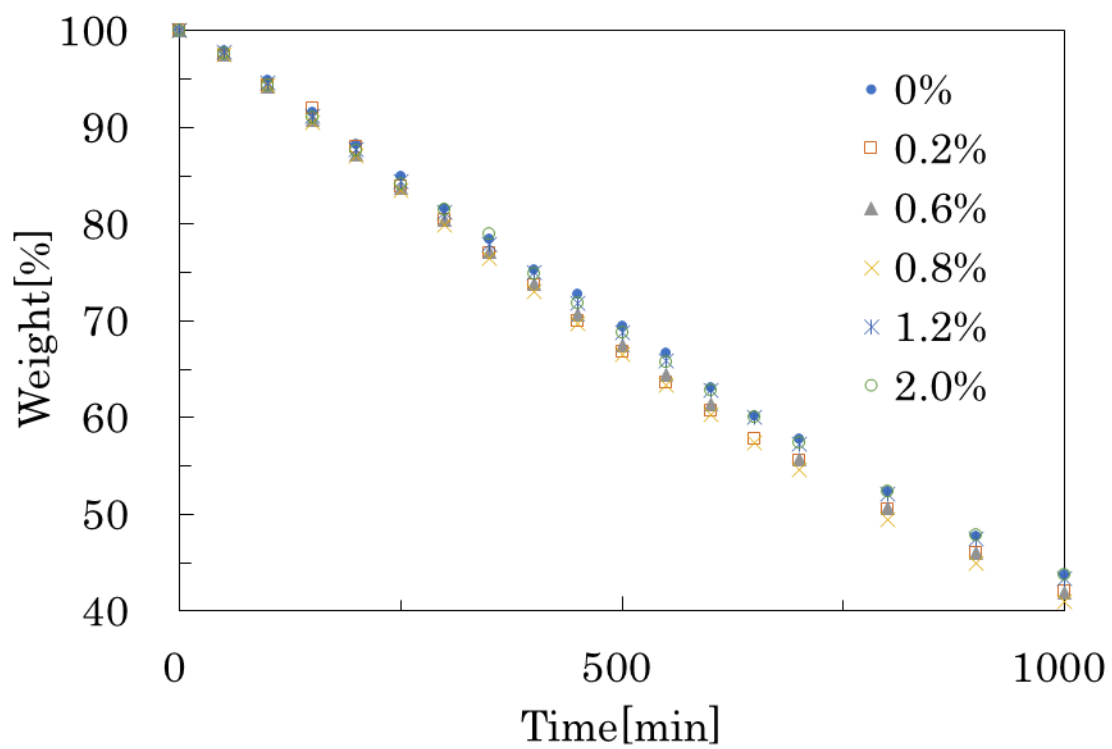


図4 8 自然乾燥における汚泥試料の重量変化率（添加量の比較）

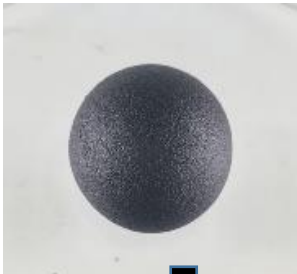
	無添加	DA1, 0.8%添加
乾燥前汚泥試料		
乾燥後汚泥試料		

図4 9 乾燥前後汚泥試料写真

図50に乾燥特性曲線を示す。乾燥後試料において変形量の増加が確認されたにもかかわらず、大幅な恒率乾燥速度や減率乾燥速度の向上は確認されなかったことから、DA1の汚泥への添加は汚泥の変形量を向上させるものの「汚泥内部の水分移動速度を抑える」「汚泥表面からの乾燥を阻害する」可能性があることが示唆された。

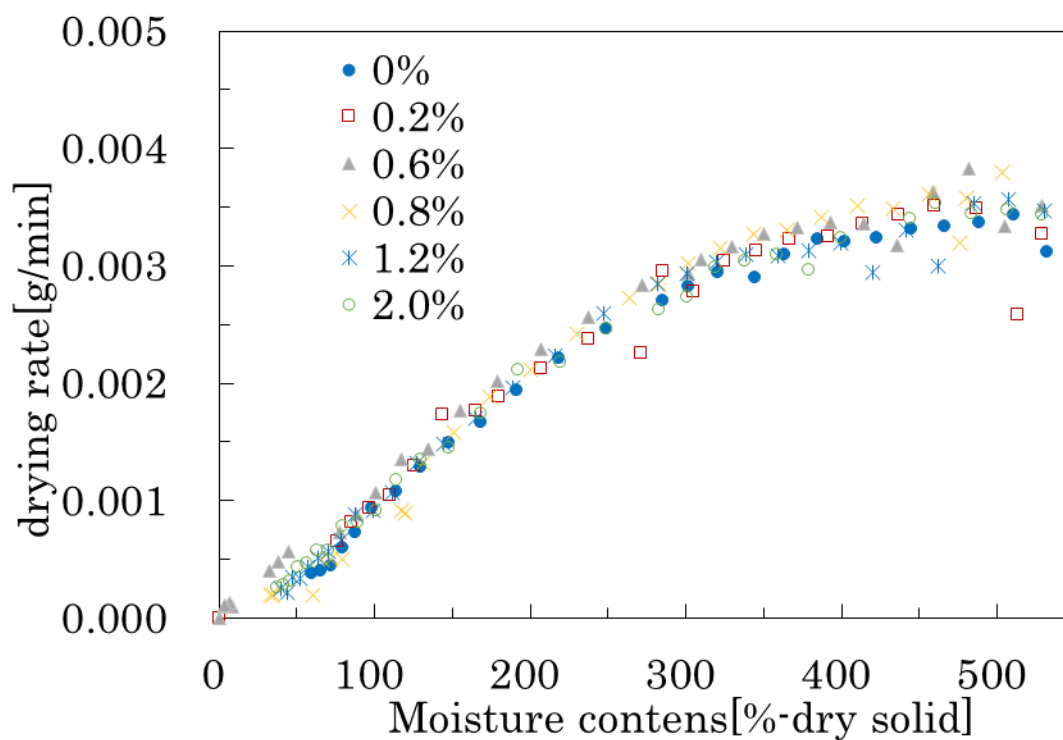


図50 自然乾燥における汚泥試料の乾燥特性曲線 (DA1 添加量の比較)

図5 1に乾燥促進剤 DA10 添加試料の乾燥特性曲線を示す。乾燥速度の高い順に、DA10 乾燥促進剤 1.6%、1.2%、0.8%、無添加、0.4%となり最適な添加率があることが示唆された。

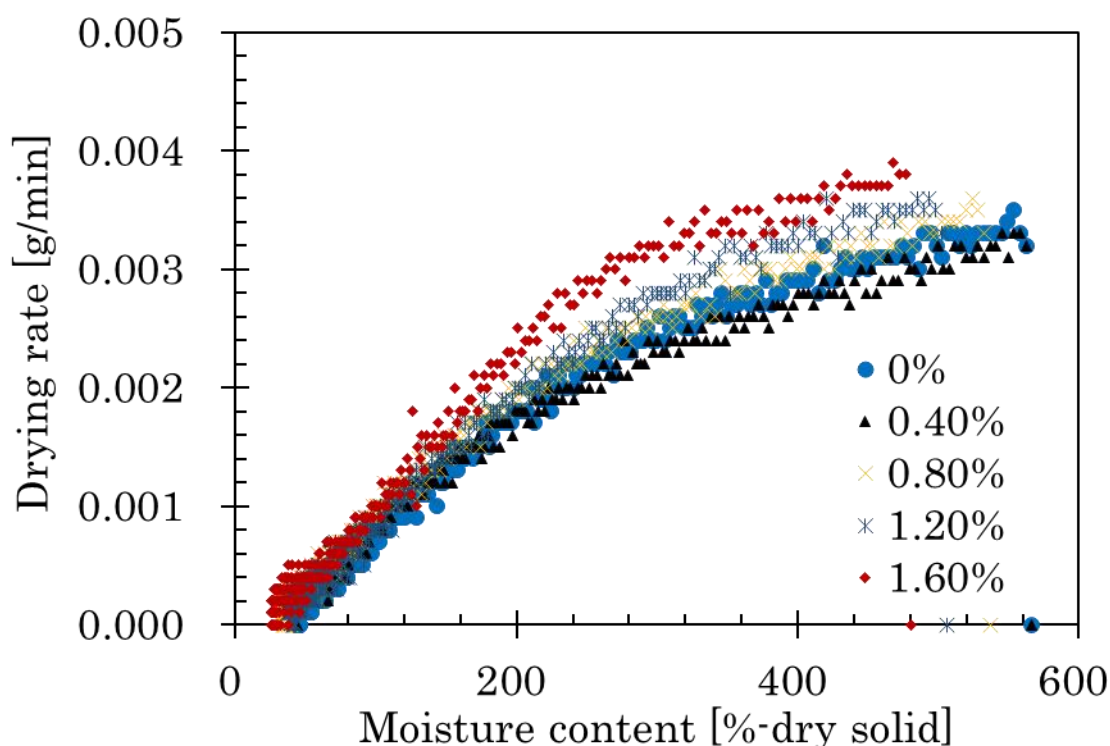


図5 1 自然乾燥における汚泥試料の乾燥特性曲線 (DA10 添加量の比較)

2-1-3-3 界面活性剤の添加が乾燥速度に与える影響

2-1-3-3-1 自然乾燥実験

乾燥促進剤にわずかに含まれている界面活性剤が汚泥の乾燥に与える影響を調べるため、界面活性剤 (SAA) 添加試料、DA10+添加試料を用意し、自然乾燥実験を行った。試料は、混練機で満遍なく混ぜた後、転動造粒装置を用い球状に丸める。添加率は全て 0.8%である。また、乾燥前汚泥試料は 5 g、粒径は 2 cm である。恒温恒湿機を用いて実験を行い、条件は温度 25 °C、相対湿度は 40%とした。

乾燥特性曲線を図5 2に示す。界面活性剤成分を含む DA10+と SAA0.8%添加試料の乾燥速度が乾燥促進剤無添加試料、DA10 添加試料と比較して、低いという結果となり板状汚泥への界面活性剤添加は乾燥を阻害することが確認された。また、板状汚泥の厚み試験において界面活性剤の添加が汚泥中の水分移動を妨げると考えられたことから、同様の事象が球体汚泥試料内部で起こった可能性がある。

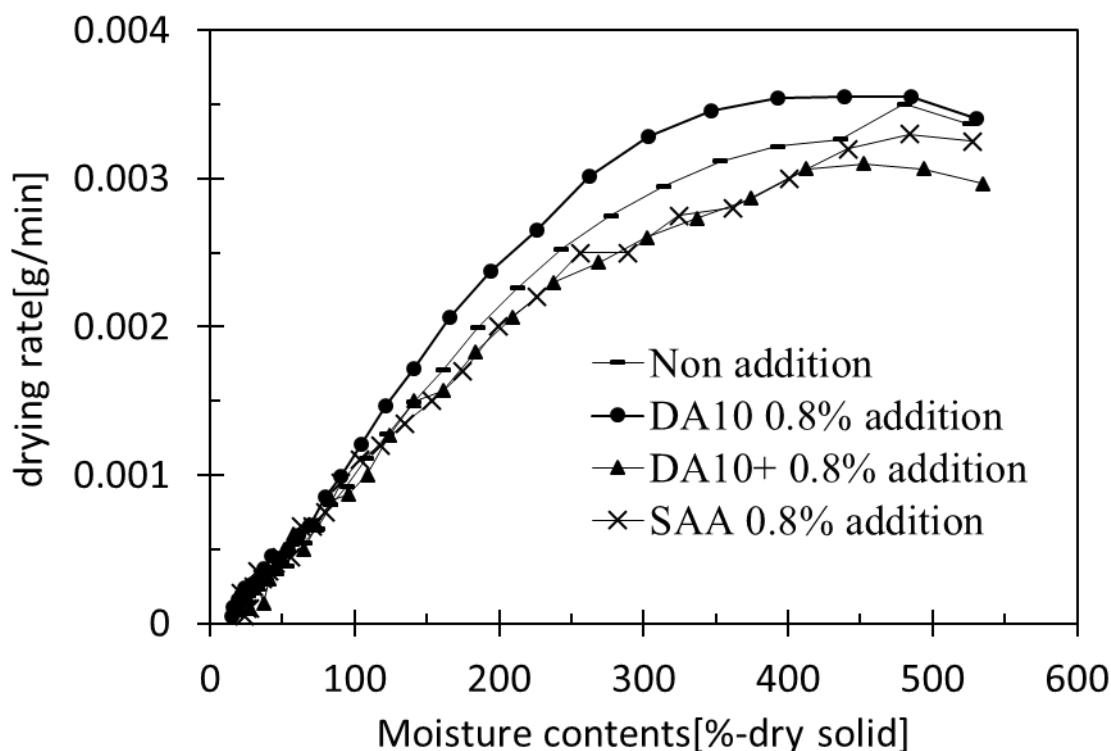


図5 2 自然乾燥における汚泥試料の乾燥特性曲線（界面活性剤添加）

2-1-3-3-2 強制対流型乾燥実験

界面活性剤添加試料を用いて強制対流乾燥実験を行った。用いた試料は無添加試料、DA10 添加試料、DA10+添加試料、SAA 添加試料であり添加率は全て0.8%とした。

界面活性剤を用いた強制対流型乾燥実験の乾燥特性曲線を図5 3に示す。DA10 添加試料の乾燥速度は無添加汚泥の乾燥速度より高いことがわかったが、界面活性剤 SAA 添加試料、DA10+添加試料の乾燥速度がさらに高く、自然乾燥実験と相反する結果となった。無添加試料と比較して DA10 添加試料の恒率乾燥期間における乾燥速度が高いことと、減率乾燥期間においても乾燥速度が高いことから DA10 の汚泥への添加による強制対流乾燥に与える影響の可能性として、2 パターン考えられた。1 つ目は「DA10 添加がヒビを生じやすくし、表面積を増加させる」可能性である。乾燥初期（恒率乾燥期間中、もしくは以前）に表面積が増加した場合、湿潤な乾燥表面積が向上することから恒率乾燥期間が延長されると同時に、恒率乾燥速度と減率乾燥速度が増加すると考えられる。DA10 添加試料は恒率乾燥速度が高いことから高含水率時にひび割れが発生し、汚泥表面積の増加に繋がった可能性がある。強制対流型乾燥実験では対流を用いているため自然乾燥実験よりも急速に表面が乾燥し、汚泥中の含水率分布が汚泥中心部を高含水率部として表面付近が低含水率部となり高勾配化していると考えられる。水分内部移動速度が律速であることを踏まえると、強制対流試験は対流により表面の含水率低下に伴う収縮が自

然乾燥試験に比較して乾燥初期の高含水率時に生じると考えられる。そのため、自然乾燥時よりも汚泥が高含水率で柔らかい時期に収縮が開始され、長時間収縮と変形が継続すると考えられるため、表面積が増加したと考えられた。2 つ目は「DA10 添加が内部の水分移動を向上させ、表面に水分が移動しやすくなる」可能性である。恒率乾燥期間の延長が確認されたことから汚泥内部に蓄えられている水分が汚泥試料表面に移動する速度が速く、試料表面の湿った状態が無添加試料に比較して長く続いた可能性がある。界面活性剤 SAA と界面活性剤成分の含まれる DA10+ の恒率乾燥速度は、無添加試料や DA10 添加試料と比較して約 2 倍となった。汚泥への界面活性剤添加は水分を内部に保持しやすい性質を付与すると考えられるため、試料内部が界面活性剤無添加の試料と比較して高含水率の柔らかい時期が長くなると考えられる。柔らかく試料強度が低いほど試料強度の上昇が抑えられるため、収縮応力と釣り合うまでの時間が長くなる。よって、界面活性剤の添加は汚泥試料の乾燥に伴う収縮、変形の時間を増加させることで、表面積が増加した可能性がある。また、表面自由エネルギーによる影響の可能性も考えられる。

SAA と DA10+ の減率乾燥期間の乾燥速度が DA10 添加試料、無添加試料と比較して高いことから、想定する実機を用いて乾燥実験を行う際には界面活性剤成分を用いることで高い乾燥促進効果を発揮すると考えられる。強制対流下においても乾燥促進剤添加による乾燥促進効果が確認されたため、実用化可能性があると言える。

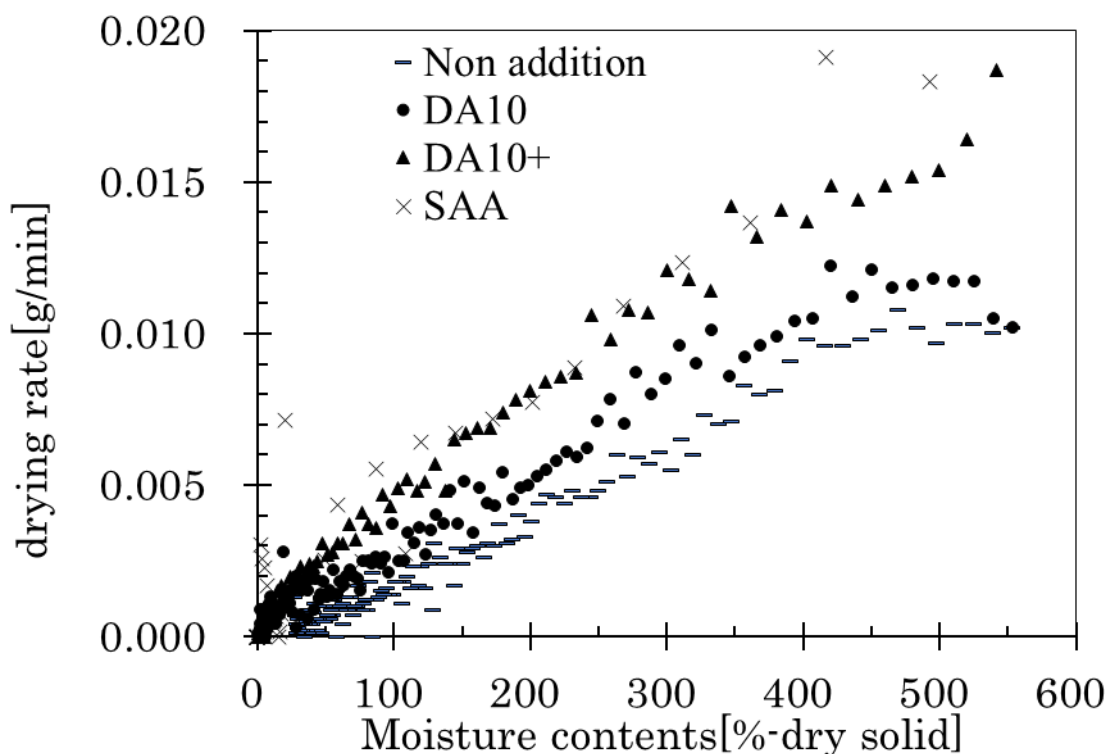


図5-3 強制対流乾燥における汚泥試料の乾燥特性曲線（界面活性剤添加）

2-1-3-4 DA10 乾燥促進剤の添加量と乾燥促進効果の最適値設定

DA10 乾燥促進剤の添加量の最適値を見出すため、DA10 の添加量を変えた試験を再度行った。DA10 添加試料の添加率は 0.8%、1.6%、2.4%、3.2%であり、界面活性剤を含む DA10+I は 0.8%、1.6%である。上記の試験と同様の結果が得られ、図5 4に示した通り DA10 の添加量が 1.6%のとき最も速く、2.4%以上では遅くなった。界面活性剤を含む DA10+の 0.8%、1.6%では、いずれも DA10 より速い乾燥性を示した。0.8%と 1.6%では乾燥時間に大きな差がなく、コスト面を考慮して DA10+の添加率 0.8%が最適であると判断した。

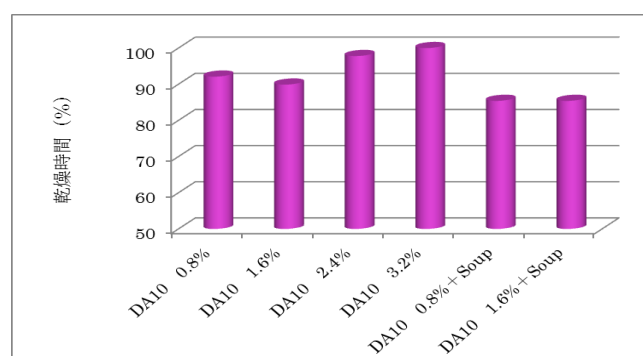


図5 4 DA10の添加量の違いによる乾燥時間比較

2-1-3-5 界面活性剤単独での乾燥促進効果への影響

界面活性剤を単独で汚泥に添加した時の乾燥時間を比較した。その結果、図5 5に示すように未添加と同等か、僅かに乾燥性が遅くなる結果を示し、界面活性剤単体では乾燥促進に効果のないことがわかった。乾燥促進効果を示さなかったのは、界面活性剤により汚泥表面の蒸気圧が低下して水の蒸発を阻害したためであり、汚泥内部からの水の移動速度と汚泥表面の蒸気圧低下効果が平衡に達することで乾燥性が低下したと推定した。

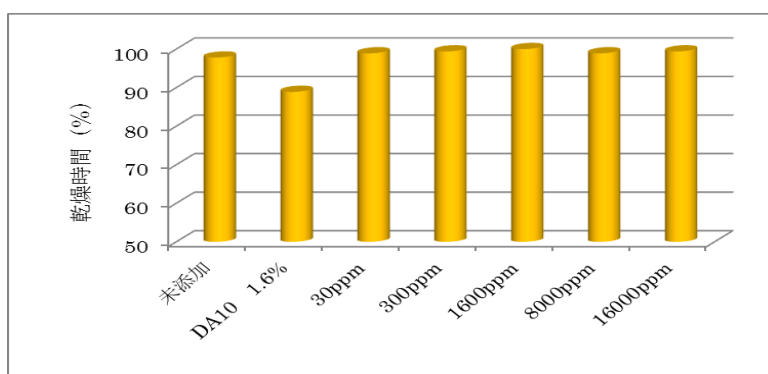


図5 5 界面活性剤単体での添加量の違いによる乾燥時間の比較

DA10 に添加する界面活性剤の配合量を変化させた時の乾燥時間を比較した。図56 に示すように、DA10 に界面活性剤を 30ppm~8000ppm 添加した時は、DA10 単体よりも 5%程度乾燥時間が短縮した。16000ppm の添加量では乾燥時間が延長した。このことから界面活性剤はDA10 と組み合わせたときに汚泥表面の水の蒸気圧低下効果より、汚泥内部からの水の移動速度を向上させる効果が大きく働くことで乾燥性が促進されたと推定した。乾燥促進効果に加えてコスト面を考慮して、最適な配合量は DA10 0.8%+界面活性剤 30ppm とした。

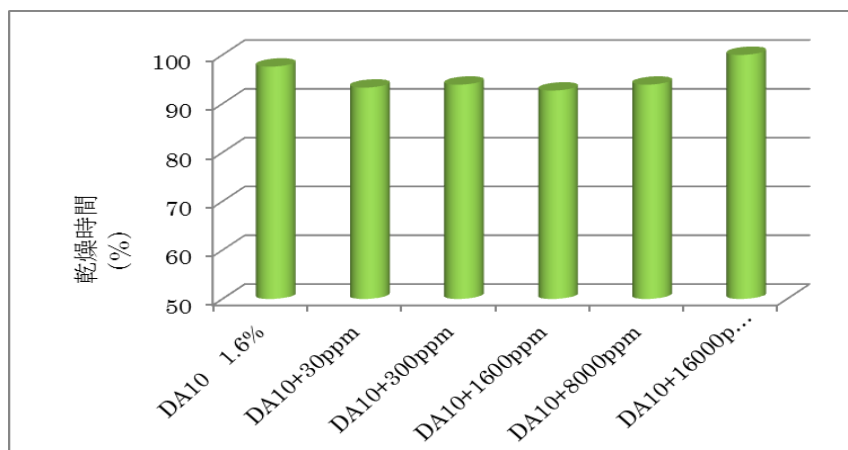


図56 DA10+界面活性剤の添加量の違いによる乾燥時間の比較

【2-2. 特定した乾燥のメカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定】

【2-2-1 汚泥の最適攪拌技術】

乾燥促進剤の添加により転動造粒時に汚泥が団子状態になりにくく、乾燥ドラムに投入後の早い段階で小径粒になることで造粒物の乾燥表面積を大きくする効果がある。そのため 乾燥ドラム内で造粒物の攪拌効果を上げるための対策として既設乾燥ドラムの攪拌用羽根について検討するとともに、その効果を把握することとした。

既存のパイロット設備は、乾燥ドラム内周を三等分する位置に攪拌用羽根を取り付けることができるが、ドラムは正逆運転を繰り返すので、正逆それぞれに同じ効果を出すには、羽根はその高さを変えることしかできない。また、送風ダクトやバッフル板のドラム内部への設置を計画するためそれらと干渉しない高さの羽根の取り付けを検討した。

図5-7に既存大型乾燥装置内部に攪拌翼を取り付けた状況を示す。材料の攪拌性を良くするため、攪拌翼は6枚×3対とした。



図5-7 乾燥ドラム内攪拌翼

次に、大型乾燥装置にセンサー、計測用ロガーを装備して実汚泥を使用し乾燥試験を行い、乾燥時間、消費電力量などの性能確認及び、課題の抽出を行った。

結果、計測用装置を導入したことにより定量的なデータをとることが出来る様になり、大型乾燥装置の性能実力値を確認した。

図5 8、図5 9に乾燥試験結果の一例を示すが、乾燥時間、消費電力量共に目標値として設定した値には程遠い値となることが分かった。新たな課題として、臭気、粉塵、シール、団子化、外気状況（温度、湿度）などの問題があることを認識した。

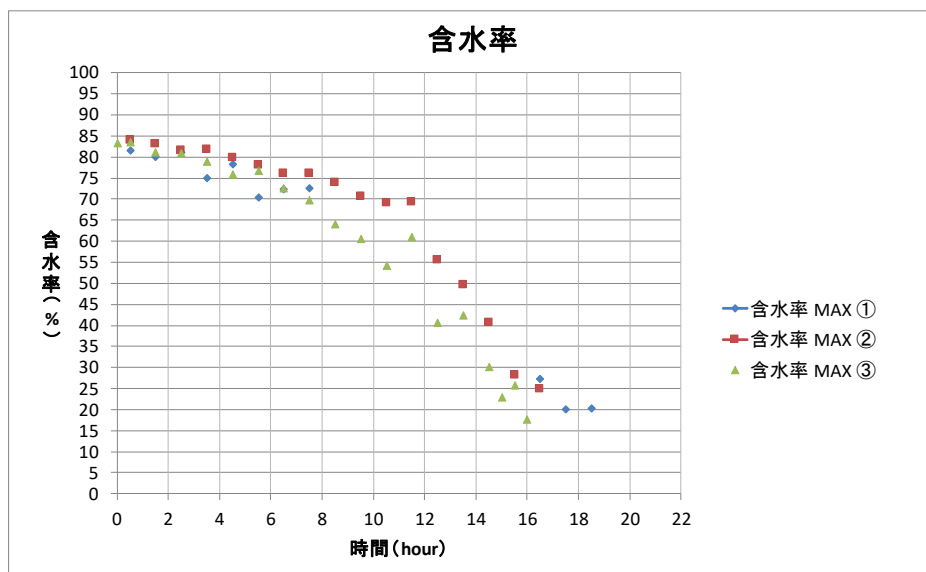


図5 8 第1回—第3回大型乾燥装置 乾燥試験 含水率推移

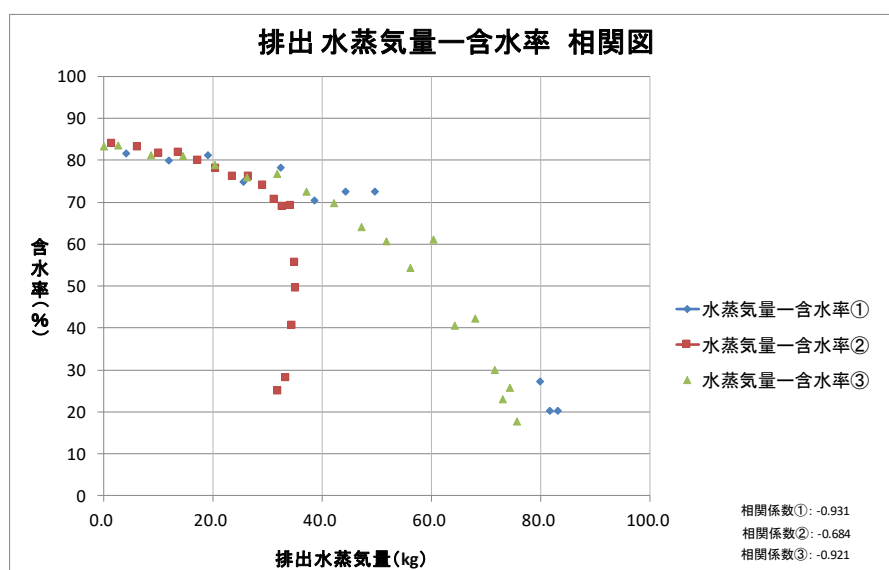


図5 9 第1回—第3回大型乾燥装置 排出水蒸気量—含水率相関

図5 9で排出水蒸気量と材料含水率との間には良い相関があることを確認した。

②の排出水蒸気量は試験途中で排気管に取り付けた湿度センサーが脱落してしまったことにより正値ではない。

大型乾燥装置では実験が大掛かりなものとなるため、試験回数を増やすために小型乾燥装置（攪拌翼4枚×3対）を製作して乾燥試験を行い、乾燥時間、消費電力量などの性能確認及び、課題の抽出を行った。



図6 0 第5回小型乾燥装置 乾燥試験記録

乾燥試験を繰り返し行った結果の一例を図6 0に示すが、経過時間に対する含水率の値の乱れがあるように、課題として乾燥材料が乾燥過程で団子化してしまうことにより乾燥時間、消費電力量に影響していることを確認した。

図6 1、図6 2に乾燥途中の材料が団子状になる様子を示す。後述の成果で記述するが、最適攪拌技術の確立には更なる検討を要するため、継続して検討を実施する。



図6 1 乾燥初期



図6 2 乾燥途中

【2-2-2 空気導入方法の確立】

効率的に汚泥を乾燥させるためには、造粒物に万遍なく必要な流速の空気を吹き付ける技術および出来るだけ送風量（排ガス量）を少なくする技術が必要不可欠である。そのため造粒物に吹付ける空気の流速を上げることで造粒物界面の空気を飽和状態にしないようにして水分蒸発を高める。その一方で、できるだけ高い飽和状態で排気することが送風量を少なくすることにつながる。そのため図6-3に示すように、造粒物に万遍なく必要流速で空気が吹付けられるような均等吹付けや、図6-4に示すようなバッフル板を設置し、できるだけ高い飽和状態で排気するなどの改良を加え、造粒物に万遍なく必要な流速の空気を吹付け、送風量を最小限にできる方法を、既設のパイロット設備を改修し、検証を実施。また、乾燥器内における流体解析を実施することにより効率的な乾燥空気流通方法を確立することを試みた。



図6-3 均等吹付け



図6-4 バッフル板効果による送風量の低減

既存パイロット設備での乾燥ドラム内の空気の流れを解析し、それに対し、2種類の改造案における空気の流れを解析結果を図6-5、図6-6に示す。ように比較して、より効率的な乾燥を実現する空気導入方法を模索した。

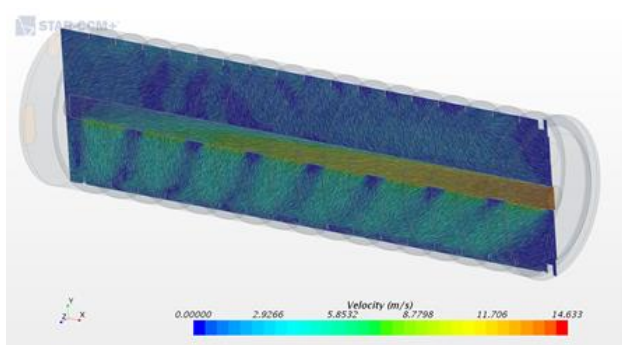


図6-5 送風ダクト

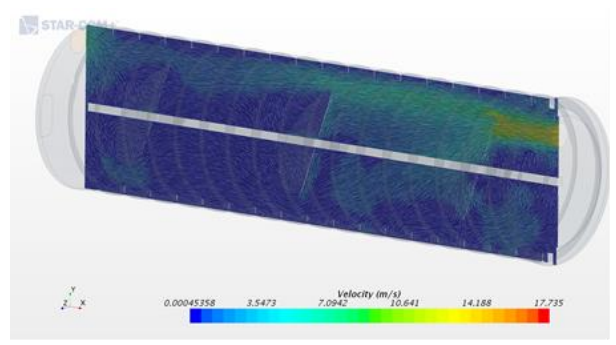


図6-6 バッフル板

両方式を比較し、送風ダクト案を採用して材料に直接風を当てるため、空気の流れ方向を吸引式から吹き出し式に変更し、図67のように吹き出し口のあるパイプをドラム中心に配置する改造を行った。



図67 吹き出しパイプ

この改造によって乾燥ガスの接触効率を増大させることにより図68に示すように、減率期間における乾燥速度が大幅に向上した。また、促進剤の添加によりさらに乾燥速度が向上することが確認できた。

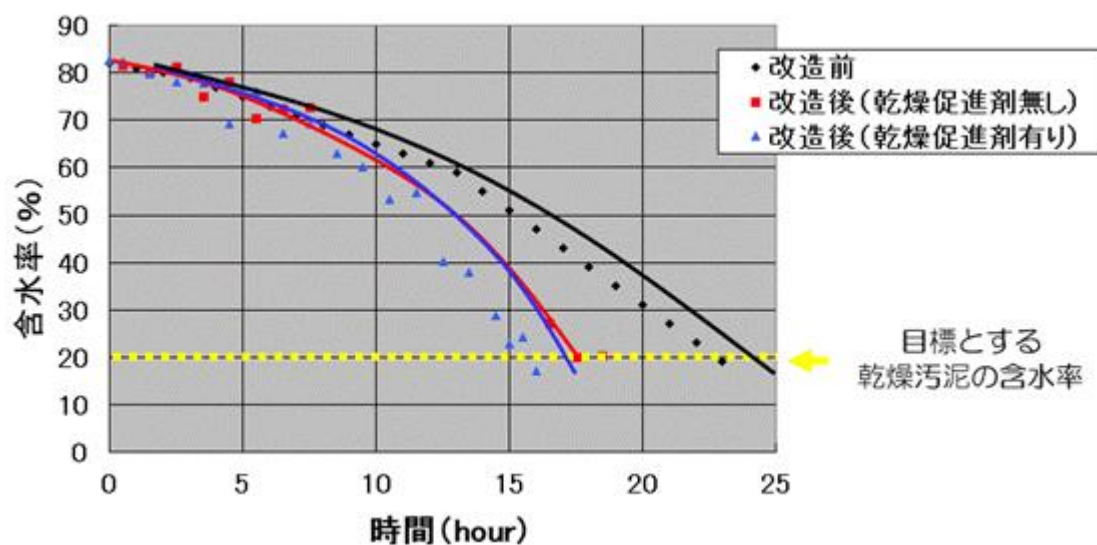


図68 大型乾燥装置による乾燥試験結果

次に、改造を行った大型乾燥装置に温風発生器を組み合わせ温風（設定温度60℃）を使つての乾燥試験を行い、乾燥時間、消費電力量などの性能確認及び、課題の抽出などを行った結果、図69のように電気ヒータ式の温風発生器を使用した場合、設定温度が60℃程度では外気の影響（温度、湿度）が乾燥装置の性能（乾燥時間、消費電力量）に対して大きく効いてくることを確認した。

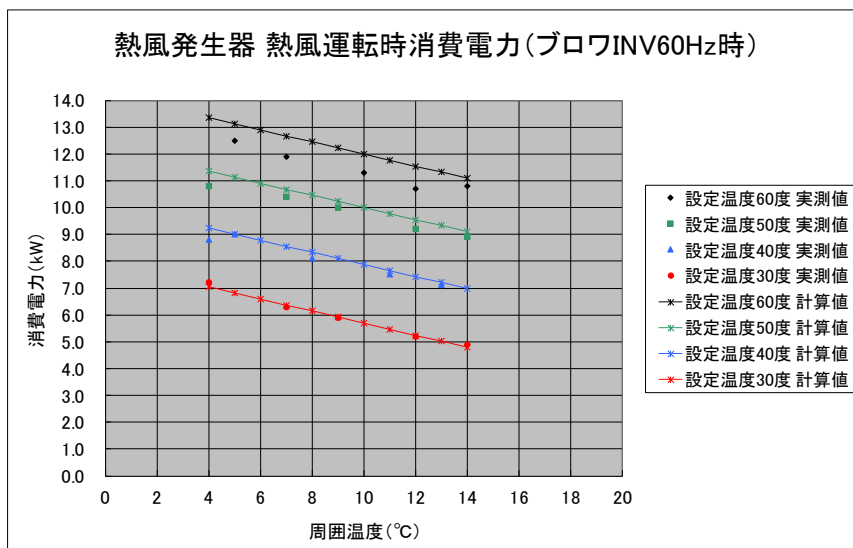


図69 周囲温度－消費電力

次に小型乾燥装置に圧縮ドライエアーを組み合わせ乾燥空気（3%RH程度）を使つての乾燥試験を行い、乾燥時間、消費電力量などの性能確認及び、課題の抽出などを行った。

また、乾燥時間シミュレーションソフトを作成し、その精度についての確認を行った。

確認結果を図70、図71、図72に示す。結果、圧縮ドライエアーは材料乾燥時間の点に於いては大変有用であるが、消費電力の点に於いては装置の開発目標値に対し大変厳しいものがあることを認識し、後述するように更なる検討の余地がある。

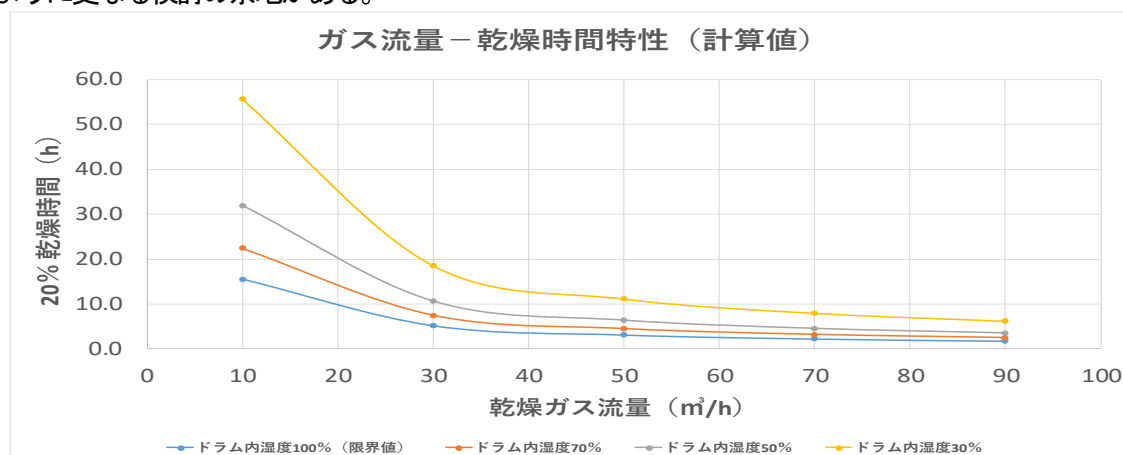


図70 ガス流量－乾燥時間特性

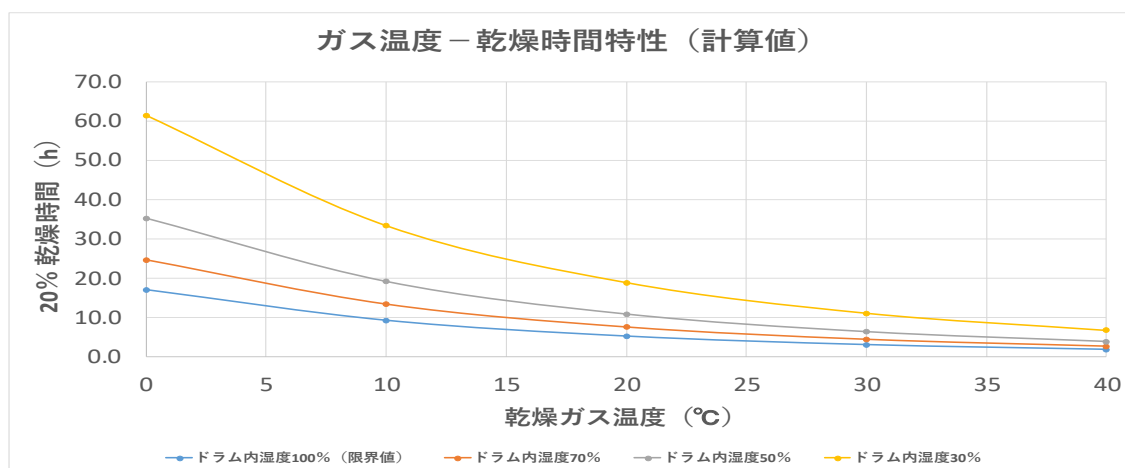


図7 1 ガス温度-乾燥時間特性

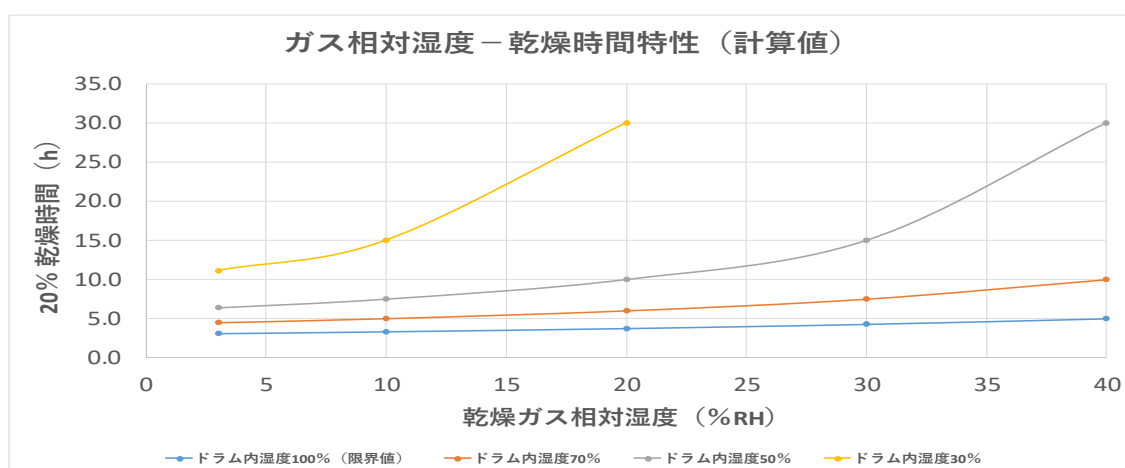


図7 2 ガス相対湿度-乾燥時間特性

【2-3. 汚泥低温乾燥プロセスの最適化】

【2-1】及び【2-2】の結果をもとに、有機汚泥エネルギー化施設の事業化を想定した設備費用、運転費用の低減、およびCO₂排出量削減の評価を行い、標準的な乾燥装置プロセスを検討した。結果、図7-3に示すように今後検討すべき新たな課題に対しても有利に働くであろう再熱除湿方式の乾燥プロセスを採用する事として、今後の事業化へ向けた乾燥装置システムを試作していく。

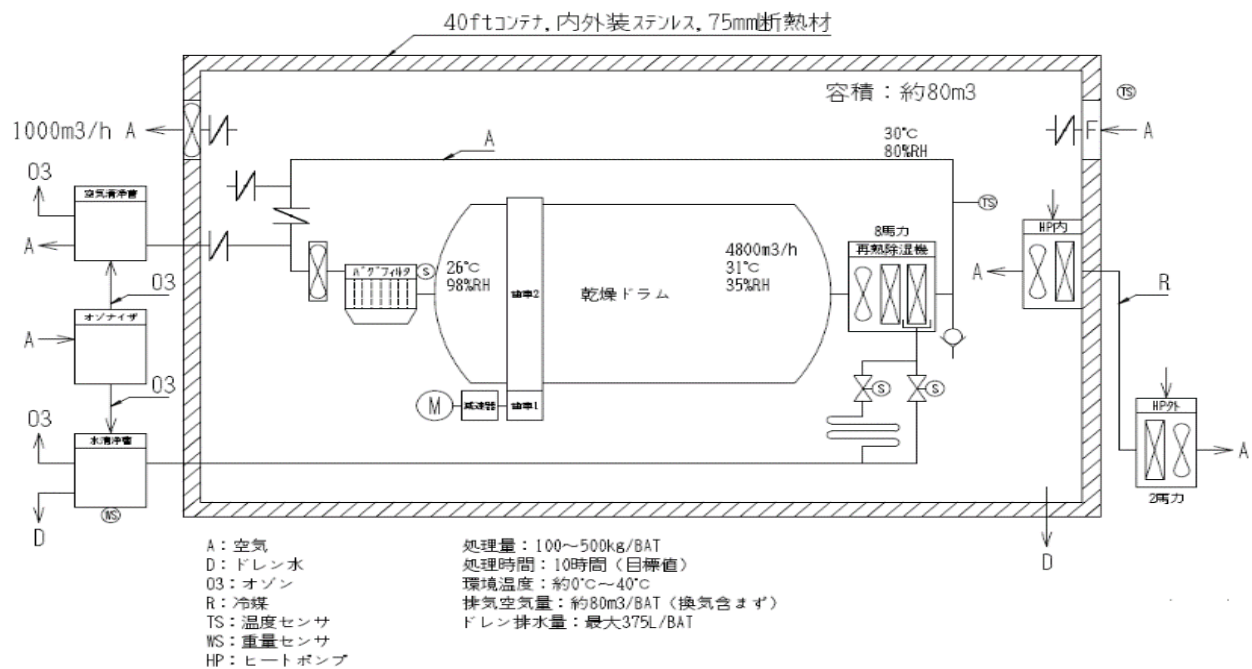


図7-3 再熱除湿方式の乾燥プロセス

【2-4. 固形燃料の製品品質の把握】

【2-4-1 固形燃料の物性評価】

得られた汚泥乾燥物は燃料として利用するため、乾燥汚泥の発熱量測定を実施するとともに、燃焼としての評価を行った。燃焼評価についてはボイラーでの利用を想定し、小型燃焼装置（熱重量分析装置）による燃焼実験を実施し、汚泥燃料の燃焼特性について把握をおこなった。また、貯蔵時の自然発火などによる火災の危険性についての把握は、固形燃料の品質として重要であることから、DTGを用いた実験を行い、低温下での乾燥促進剤混合汚泥の挙動観察を行った。

2-4-1-1 熱量の評価

ボンベ熱量計を用いて実験に使用した汚泥の熱量を測定した。用いた汚泥は球体試料の自然乾燥実験における実験終了後乾燥物であり、無添加汚泥試料とDA10を0.8%添加した汚泥試料の2種を用意した。この時の乾燥物の含水率は約20%である。乾燥促進剤の添加が熱量に与える影響を調べるため、以下に実験手順を示す。ボンベ熱量計では熱量を計測する汚泥をオブラートに包み実験を行うためオブラートと汚泥の合算された熱量が観測される。よって、得られた値から汚泥試料単体の熱量を換算して求める必要がある。そのために、オブラート単体の単位重量当たりの熱量を求めておく必要がある。まず、オブラートを単体で試料とし、ボンベ熱量計に設置する。そこで得られた熱量をオブラートの質量で割ることでオブラート単体の単位重量当たりの熱量が求まる。本実験で用いたオブラートの単位質量あたりの熱量は13.8MJ/Kgであった。

実験開始時に本実験で用いるオブラートの質量と汚泥試料の質量を記録しておく。オブラートで包んだ汚泥の熱量を測定した後、使用したオブラートの重量にオブラート単体の単位重量当たりの熱量をかけ合わせ、測定された合算熱量から引いた値を汚泥試料の質量で割ることで単位質量あたりの汚泥試料の熱量を算出した。

各汚泥の発熱量を図7-4に示す。無添加試料は17.05MJ/Kg、DA10添加試料は17.3MJ/Kgとなった。乾燥促進剤の添加の有無に関わらず、石炭の7割程度の熱量を有しており乾燥促進剤添加による熱量に与える影響が小さいことが分かった。

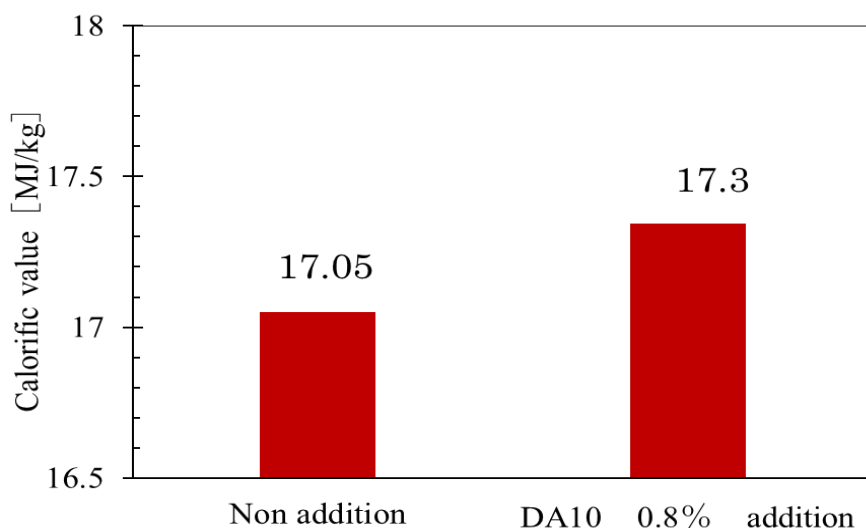


図 7 4 無添加および乾燥促進剤添加汚泥の発熱量

2-4-1-2 TGIによる燃焼性評価

乾燥汚泥の燃焼性を評価するため、熱重量分析装置を用いて、熱分解時および燃焼時の熱重量分析を実施した。試料には、乾燥促進剤添加汚泥（DA10添加）および無添加汚泥を用い、比較のため一般炭の燃焼特性についても同様の実験を試みた。

図 7 5に熱分解時および燃焼時の熱重量変化を示す。DA10添加乾燥汚泥と無添加乾燥汚泥で熱分解時の挙動に大きな変化はないが、DA10を添加した場合の方が、昇温時の安定性が高く、貯蔵時の水の吸着が見られなかった。一方、無添加汚泥は、貯蔵時に吸着したとみられる水分が100℃程度のところで蒸発しているため、わずかな重量減少が見られる。これは、先にも示したように、DA10添加による表面の撥水性が寄与しているものと考えられ、DA10添加乾燥汚泥の貯蔵時の安定性が示唆された。熱分解温度については、乾燥促進剤の有無によりほとんど変わらず、熱分解挙動もほとんど変わらない。また酸素中での燃焼挙動についても添加の有無によりほとんど変化が見られなかった。石炭に比べて揮発分が多いことから、燃焼性についてはほぼ問題が無いものと考えられる。また、灰分割合についてもほぼ石炭と同様であったことから、石炭火力等での燃焼についても大きな問題はないものと考えられる。

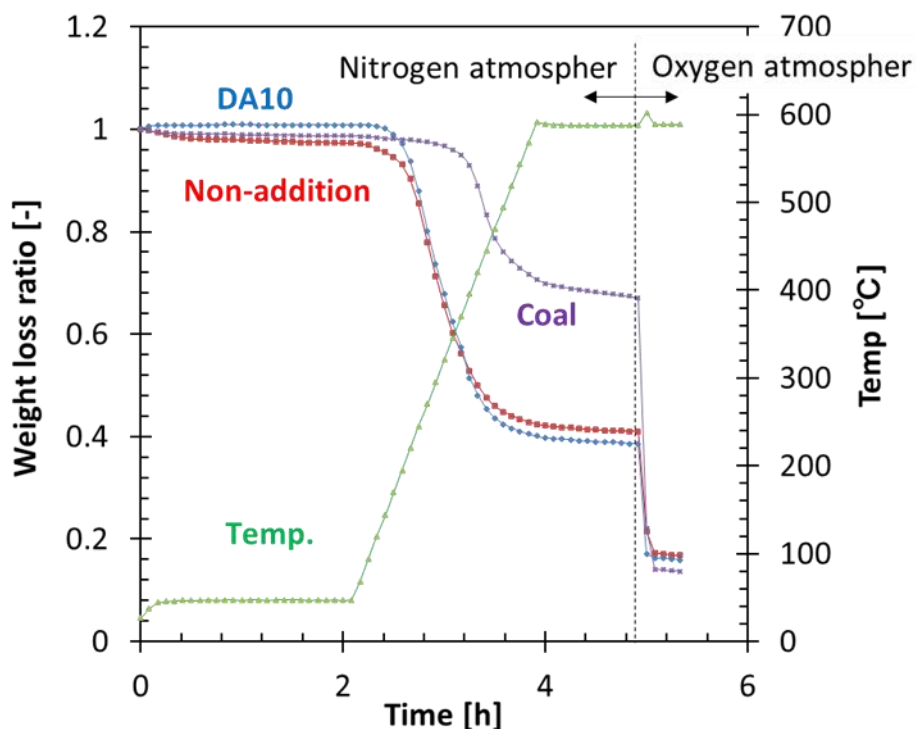


図7 5 無添加および乾燥促進剤添加汚泥の熱分解・燃焼挙動

2-4-1-3 DTGを用いた反応熱評価

乾燥汚泥貯蔵時の安定性を評価するため、酸素雰囲気下におけるDTG評価を行った。これは長時間酸素に暴露された場合の吸熱・発熱反応を特定するものである。試料には、乾燥促進剤添加汚泥（DA10添加）および無添加汚泥を用いた。

図7 6に酸素暴露試験の結果を示す。乾燥促進剤の添加の有無にかかわらず、実験開始直後から水の脱着に伴う重量減少が確認され、それに伴う吸熱反応が観測された。しかしながら、吸着熱はわずかであり、乾燥促進剤の添加の有無によりその大きさはほとんど変わりがなかった。長時間酸素に暴露されているにも関わらず、反応熱の変化が見られなかったことから、汚泥乾燥物の性状は安定していたものと考えられ、貯蔵時の発火等は無いものと考えられる。ただし、石炭等の発火においては水が有機物を分解し、その分解熱により発火等が生じることが報告されていることから、水を加えたときの分解や吸湿性についても検討を継続していく必要がある。乾燥促進剤については乾燥面が撥水性であることから、水吸着による有機物分解の可能性は低いと考えられるため、燃料としての貯蔵に適しているものとは考えられる。

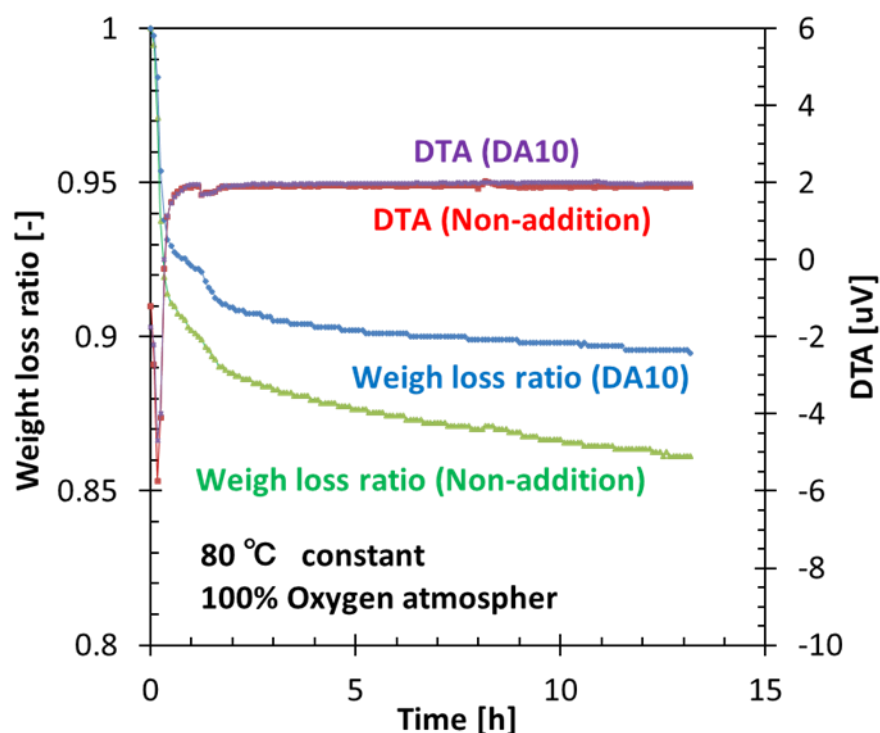


図7 6 無添加および乾燥促進剤添加汚泥の貯蔵時反応熱挙動

【2-4-2 固形燃料の安全性の評価】

食品汚泥の燃料としての評価を実施した結果、発熱量に関しては乾燥促進剤未添加の汚泥が17.05MJ/Kgに対し、DA10を0.8%添加した汚泥は17.3MJ/Kgと、0.25MJ/Kg発熱量が高くなることが分かった。これは乾燥促進剤に含まれる有機成分によるものと考えられる。また、TG-DTAを用いた乾燥汚泥の安定性評価（図7 6）と燃焼性評価（図7 5）の結果、今回評価した食品汚泥は乾燥促進剤の有無に関わらず自然発火性が低いこと、反応性は変わらないこと、促進剤を添加した方が乾燥物の安定性が高くなることが明らかとなった。

最終章 総括

(1) 複数年の研究開発成果

【1. エマルジョン（乾燥促進剤）添加時の乾燥促進メカニズムの把握】

- ・乾燥促進剤が乾燥に与える影響および乾燥促進剤添加における汚泥乾燥のメカニズムを把握した。
- ・乾燥温度、粒子径などの乾燥条件が乾燥速度に与える影響について把握し、最適乾燥条件を明確にした。
- ・汚泥乾燥において最適な促進剤の選択を行った。

これら結果より、本事業における乾燥促進メカニズムの把握ができた。

また、乾燥促進剤の促進効果によるコスト削減額から、薬剤の適正コストを算出した。乾燥促進効果による乾燥時間の短縮によってランニングコストが比例関係で削減できると想定すると以下のような計算になる。

薬剤なし：17000 円/t、促進剤添加による乾燥促進効果：20%とすると、ランニングコストの削減額は3400 円/t となる。薬剤添加量は0.8%なので、薬剤のkg 当たりの単価を計算すると、3400 円/8kg=425 円となる。現在の小スケールでの薬剤の原材料費は約1000 円、そこから量産効果によって1/3 程度までの圧縮が見込めるのでビジネスモデルとしても十分成立する価格設定が可能である。

以上のように今回開発した乾燥促進剤の添加により、乾燥時間が短縮され、人件費の削減や、電気代等のコストの削減、1 日の処理量の向上などが期待できる。

【2. 特定した乾燥のメカニズムが最も機能的に作用する低温乾燥方法の構築および乾燥装置の決定】

- ・乾燥装置の小型試作機を用いて様々な条件下での汚泥乾燥実験を行い、攪拌スピード、方向、導入空気風量、バッフル板など、今後の実用化に向けた乾燥装置として必要な形状、仕様の検討を実施した結果、実用化に向けた装置仕様の決定については実客先から実乾燥材料を支給頂き数回の乾燥試験を行い、客先毎、材料毎にそれぞれに適した装置形状を決定するための評価項目を知ることができた。

これらの知見は、客先仕様に合わせた乾燥装置の設計・制作の効率的な実施を行うために有益なものである。

- ・乾燥時間シミュレーションソフトを作成し、その精度についての確認ができたことにより、数回のテスト乾燥をおこなえば、おおよその乾燥時間を推測することが可能となり、機器の容量選定に於いても十分活用できるツールとなった。
- ・乾燥装置では再熱除湿乾燥プロセスを採用することにより、運転費用を抑制することができる。

【3. 汚泥低温乾燥プロセスの最適化】

- ・【2】で得られる実験結果を元にLCA評価を行い、設備費用、運転費用の低減、CO₂ 排出量削減のための仕様検討を実施し、再熱除湿乾燥方式の必要性を見出した。
- ・乾燥プロセスの最適化に資する標準的な仕様を見出し、LCA 評価において当初目標値には達しなかったものの、従来方式に比した優位性を見出すことができた。
- ・CO₂純削減については、本乾燥装置の比較対象として挙げた造粒乾燥方式、炭化方式がマイナスの値であるのに対し、プラスの値を達成することができた。

上記、【2】【3】の研究開発による乾燥装置開発について技術目標値の達成までは至っていないが、本提案方式の乾燥装置は下表のごとく従来乾燥方式に比した優位性を示すものであり、今後の事業化に向けて客先ニーズに合わせた仕様決定の基礎データとすることができる。

ライフサイクルアセスメント結果

			事業計画書掲載値			研究成果(見込み値)	
			造粒乾燥方式	炭化方式	提案方式 (目標値)	提案方式	
						乾燥促進剤 添加無し	乾燥促進剤 添加あり
生産	製造日数		1	2～3	1	1	1
	初期投資	(億円/(t/日))	0.27	1.03	0.24	0.6	0.6
	運転費用	(万円/t)	1.7	2.48	1.2	1.74	3.62
	製品量	(t/年)	1060	500	1200	1620	1620
製品	低位発熱量	(kcal/kg-DS)	3500～4000	3500～4000	4300	4075	4144
	含水率	(%)	10	5以下	20以下	20	20
エネルギー	投入燃料	(kL/年)	482	254	0	0	0
		(GJ/年)	18850	9930	0	0	0
	消費電力	(MWh/年)	359	1440	1200	2082	1812
		(GJ/年)	3480	13940	11620	20150	17540
	製品量	(GJ/年)	15620	7910	21590	27620	28090
	回収率	(%)	70	33.1	186	137	160
CO ₂	製造排出	(t-CO ₂ /年)	1502	1475	695	1205	1050
	製品削減	(t-CO ₂ /年)	1406	712	1496	1914	1947
	(参考)同上換算値	(t-CO ₂ /GJ)	-0.09	-0.09	-0.069	-0.069	-0.069
	純削減	(t-CO ₂ /年)	-96	-763	801	709	897
	補正純削減	(t-CO ₂ /年)	—	—	—	—	632
	比焼却削減	(t-CO ₂ /年)	1587	920	2484	2392	2315

【4. 固形燃料の製品品質の把握】

- ・固形燃料として乾燥促進剤添加汚泥の燃焼性の検証および自然発火の可能性について評価を行った。特に、乾燥促進剤の添加による発熱量や燃焼安定性について実験的検討を行った結果、今回評価した汚泥は自然発火性が低く、乾燥促進剤添加により発熱量も向上することから、燃料として活用できるため、従来使用していた燃料のコストや、汚泥の廃棄コストをカットできるため、様々な分野への展開が期待できる。

（2）研究開発後の課題

本事業で開発した乾燥促進剤のメカニズム解明とその有効性が確認できたことにより従来よりも優位性のある汚泥乾燥装置の目処を得ることができたが、現状は下表のように目標値には達していない。

LCA 研究開発目標値と現状

項目	単位	目標値	現状（促進剤なし）	現状（促進剤あり）
エネルギー回収率	%	186	137	160
CO2 純削減	t-CO2/年	801	709	632

現状の汚泥乾燥装置に対する考察と実用化へ向けた課題を以下に示す。

＜現状の汚泥乾燥装置に対する考察＞

- ・エネルギー回収率については目標とした値には届いていないが、造粒乾燥方式の参考値が70%、炭化方式の参考値が33%であることを踏まえると、現状の100%以上の値は本提案方式の訴求ポイントとして十分に意味のある値であると考ええる。
- ・CO2 純削減量については目標とした値には届いていないが、造粒乾燥方式の参考値が-96 t-CO2/年、炭化方式の参考値が-763 t-CO2/年であることを踏まえると、現状の709 t-CO2/年、632 t-CO2/年という値は本提案方式の訴求ポイントとして十分に意味のある値であると考ええる。特に、数値が負の値ではなく、正の値である所に大きな意味がある。
- ・エネルギー回収率、CO2 純削減量については共に運転時の消費電力を下げることによりさらなる数値の向上が見込めるため、“運転時の消費電力を下げる”取り組みについては今後も継続して行う。
- ・また、今回複数のサンプルを使用しての乾燥試験をした経験と、乾燥技術についての経験を持っている方々のサジェスションにより、乾燥材料によりこの数値が変わるであろうことが十分認識できた。材料により変わってくるであろう値を如何にコントロールしてゆくかも今後の課題である。

乾燥装置 現状イメージ図

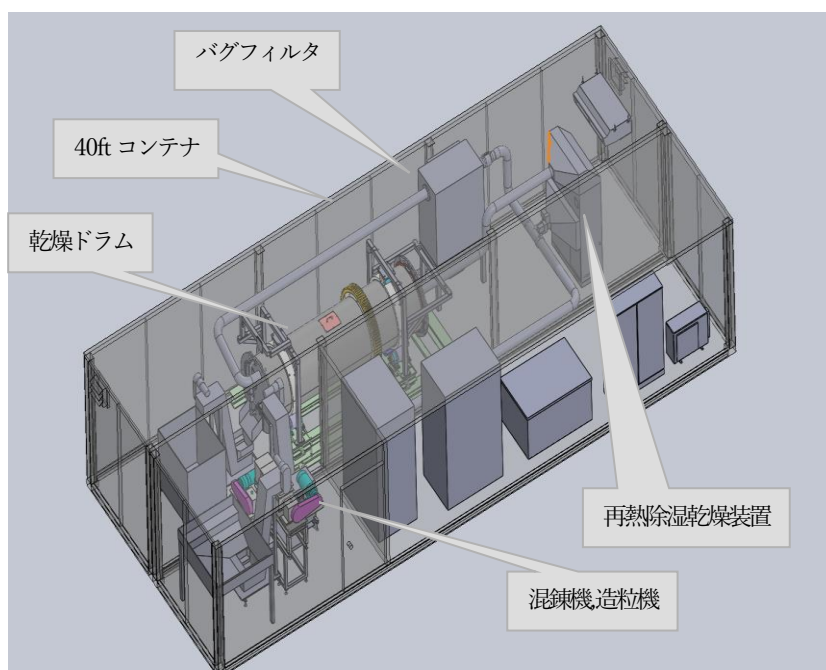


図77 乾燥装置

・今後の開発の展開としては、現状のイメージ図をもとに小型（1/100 スケールくらい）の乾燥装置（試験プラント）を作成し、ウイークポイントの改善、改良を第一優先とし開発を進めて行く。新技術を実現するための研究開発で解決すべき技術的課題を本事業期間で認識したため、以下の課題について更に実用化へ向けた検討を実施する。

① 粉塵除去（乾燥装置）

- ・高性能、低損失のバグフィルタを開発する必要がある。

② 悪臭除去（乾燥装置）

- ・オゾン消臭装置の実力を確認する必要がある。（空気及びドレン水）
- ・必要であれば他の消臭方式の検討、評価を行う必要がある。

③ 乾燥材料の団子化抑制（乾燥装置）

- ・多種の材料を使って材料の団子化を抑制するための方策を見つけ出す必要がある。

④ 回転部のシール（乾燥装置）

- ・乾燥装置回転部からの材料漏れをなくすためのシール技術を導入または開発する必要がある。

⑤ 乾燥材料の粉塵化抑制（乾燥装置）

- ・バグフィルタの負荷を軽くするため、乾燥材料を出来るだけ粉塵化しないようにする必要がある。

ある。

⑥ 乾燥室（ドラム）内の相対湿度の向上（乾燥装置）

- ・これまでの取り組みで全く知見が得られていない訳ではないが、商品化に至るまでにはこれまで以上の経験、知見が必要と考える。

⑦ 低損失の空気ダクト設計（乾燥装置）

- ・使用機器の容量を出来るだけ小さくする為に損失の小さなダクト設計を行う必要がある。

⑧ 材料の投入、排出、搬送（乾燥装置）

- ・材料の投入、排出、搬送が問題なく行えるようにする必要がある。

⑨ 乾燥装置の清掃、保守（乾燥装置）

- ・清掃方法、保守点検方法の検討、決定をする必要がある。

⑩ 乾燥装置の制御（乾燥装置）

- ・乾燥装置内各機器の制御方法の検討、決定をする必要がある。

⑪ 小型乾燥装置 2 号機の製作、乾燥試験（乾燥装置）

- ・最終提案方式に基づいた小型乾燥装置 2 号機を製作し、多種の材料を用いて乾燥試験を行う必要がある。

（３）事業化展開について

（３－１）想定している具体的なユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果

【想定する国内、海外市場（現状、今後の動向）】

＜対象とするユーザー＞

- ① 地方公共団体の下水処理場（固形燃料化、減容化）
- ② 石炭代替エネルギー需要者（火力発電所などで自社で固形燃料化）

＜市場規模＞

- ・下水処理場は全国各都市に施設があり、潜在的な市場規模は非常に大きい。しかしながら固形燃料のエネルギー化率は 1.3%に過ぎない（国土交通省資料）。エネルギー化率向上に向けて、当面は小規模の固形燃料化設備で事業性の評価を行い実績を作る。
- ・実際に川下企業で検討されている設備規模は 5 t / 日である。このことから、設備規模は 5 t / 日が主流と考えられ、これをベースに売上高を算出する。H35 年度はフィールドテストを兼ね

た1 t/日の小規模処理設備で実績をつくり、4年後に5 t/日の設備を複数納入するものとした。

【川下企業（顧客）ニーズ】

対象とするユーザー（ニーズ）のある、地方公共団体の下水処理場（固形燃料化、減容化）、石炭代替エネルギー需要者（火力発電所などで自社で固形燃料化）に加え、事業化による経済効果として、事業化が達成された場合には、未利用のバイオマスの再資源化、温室効果ガス排出削減に大きな効果を及ぼすと考えられる。

また、石炭代替エネルギーとして活用されることで、電力会社、下水処理事業の経営改善などの経済的な効果も大きい。

（３－２）事業化に至るまでの遂行方法や今後のスケジュール

【販売促進戦略】

- ・本技術は固形燃料化設備の販売と消耗品材料としてのエマルジョン販売が対象となる。

第1ステップは小規模固形燃料化設備を製作、フィールドテストにより実証を行い、この結果をもとに横展開を行う。

- ・展示会への出展、エマルジョンを用いた低温乾燥プロセスの認知度を深める。

H31－32年度実施内容

- ・小型乾燥装置2号機（10kg/日能力）の設計、製作

H33年度実施内容

- ・小型乾燥装置2号機を使用しての乾燥試験、販売体制構築

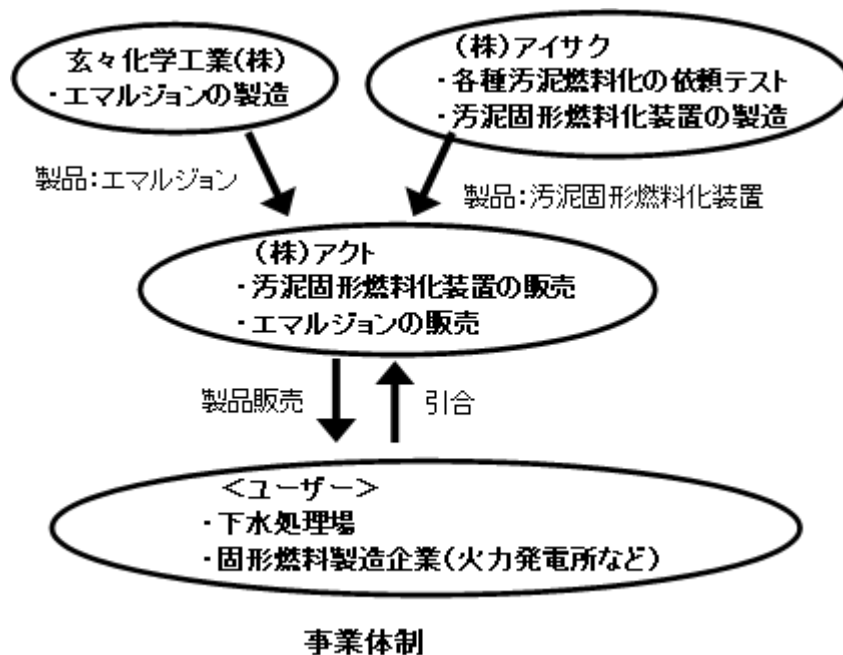
H34年度実施内容

- ・乾燥装置（パイロットプラント）の設計、保守・製造体制構築

H35年度実施内容

- ・乾燥装置（パイロットプラント）の製作、出荷

【販売先、川下製造業者等の事業化の体制】



(3-3) 成果（試作品）の無償譲渡や無償貸与

- ・成果の無償譲渡及び無償貸与に関する実績及び予定はない。

(3-4) 補助事業の成果に係る知的財産権等について

(1) 知的財産権の出願及び取得並びに論文掲載の有無

- ・現時点での新規出願及び論文発表に関する予定はない。

(2) ライセンス契約等による事業展開

- ・現時点でのライセンス契約等による事業展開に関する予定はない。

以上