

システム開発

16 - F - 3

有機融雪剤製造機械システムの開発に関する フィージビリティスタディ

報 告 書

—要旨—

平成 1 7 年 3 月

財 団 法 人 機 械 シ ス テ ム 振 興 協 会

委 託 先 財 団 法 人 エ ン ジ ニ ア リ ン グ 振 興 協 会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、経済産業省のご指導のもとにシステム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業等を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長：放送大学副学長 中島 尚正氏）を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「有機融雪剤製造機械システムの開発に関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人エンジニアリング振興協会に委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成 17 年 3 月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

我が国の国土面積の約 6 割を占める積雪寒冷地域では、冬季の道路交通の安全性・円滑性の確保のため主に塩化物系融雪剤（凍結防止剤）が使用されており、それに含まれる塩素による車両や橋梁などの腐食劣化や街路樹など植栽への深刻な悪影響など、周辺環境への影響が課題となっています。一方、食品や食品材料などの加工により大量に発生する有機系の廃棄物の有効利用が大きな課題となっています。

これらの有機系の廃棄物を原料として、塩害のない融雪剤を製造する機械システム技術を実現し、これによって使いやすい液状・粒状の融雪剤試作品の融雪効果を確認し、また製造プラントの仕様および設計技術を得ることができました。

従来にはなかったこのような新しい技術の機械プラントが普及することにより、廃棄物の有効利用および融雪剤による塩害の防止に役立つとともに、冷熱エネルギーとしての雪の利用に際し、塩分の除去や塩害への対応をする必要がなくなり、都市での雪氷冷熱の利用も拡大することになります。特に積雪地の食品系有機廃棄物から有用再生製品（有機融雪剤）を製造するため、原料費で有利であるとともに、環境保全に効果的であり、かつ、地域の交通の利便性にも寄与するため公共性が高く、各地域で広く普及を図るべき性格のものであります。

本書は、食品系の有機廃棄物を原料とする有機融雪剤の製造機械システムに関するフィージビリティスタディ（以下スタディという）を行った結果であります。

本スタディの成果が、今後の食品系廃棄物の有効利用と産業育成・雇用増大および環境貢献と融雪事業の一助となることを切望する次第であります。

平成 17 年 3 月

財団法人 エンジニアリング振興協会

目 次

1 . スタディの目的	1
2 . スタディの実施体制	2
3 . スタディの内容	5
3.1 平成 16 年度以降の課題と要検討内容	7
3.2 有機融雪剤の製造プロセスのプラント操業条件の研究	8
3.2.1 プラント操業条件の検討課題と研究内容	8
3.2.2 原料の選定	10
3.2.3 繊維質分解酵素添加による分解液状化促進	11
3.2.4 加圧ろ過における固液分離効率化	23
3.3 有機融雪剤の雪質・用途条件等に対する適用拡大実現の研究	28
3.3.1 有機融雪剤適用拡大の課題と研究内容	28
3.3.2 有機融雪液剤の調製と試作有機融雪剤の性状確認	30
3.3.3 有機融雪液剤の固形剤化と性能評価	32
3.3.4 有機融雪液剤含浸すべり止め材調製と適用性評価	44
3.3.5 融雪剤の取り扱い方法に関する検討	51
3.4 有機融雪剤の製造プラント設計技術の研究	59
3.4.1 製造プラントの概略	61
3.4.2 各装置のフロー図・基本仕様と施設レイアウト	63
4 . まとめ	67
4.1 有機融雪剤製造のプロセスと製造コスト	67
4.2 融雪剤の道路・構造物等への影響と環境コストの試算	70
4.3 有機融雪剤製造事業実現のための課題と今後の展開	72

1. スタディの目的

寒冷地ならびに我が国の約 6 割以上の面積を占める積雪地域では、冬季道路交通の安全性・円滑性の確保のため、主として塩素を多量に含む塩化物系の融雪剤（凍結防止剤）が使用されており、社会資本や交通施設等の腐食劣化を助長することなどが課題となっている。一方、都市域とその周辺では大量の食品廃棄物が発生しており、肥料・飼料など従来の再利用先以外の大量利用用途の開発が求められている。

道路周辺の環境や道路構造物、車両などに悪影響を与える塩化物系の融雪剤による課題を解決し、あわせて食品廃棄物（主に業務用食品および食品加工系廃棄物）の都市内有効利用を実現するために、食品系有機廃棄物を原料とした低環境負荷・低腐食型の融雪剤を製造する実用プラントの開発が有効な手段として考えられる。

平成 15 年度は、食品廃棄物を原料として、塩化物をほとんど含まず腐食性の低い有機融雪剤を製造するプロセスの技術が実現した。この技術は、さらに有機融雪剤製造プロセスの効率化、融雪剤としての対象用途および使用条件の拡大を図り、実用的なプラント技術として普遍化する必要がある。

そのため本スタディでは、食品系廃棄物を原料として製造される有機融雪剤の製造機械システムの普及を実現するため、有機融雪剤製造プロセスのうちの分解・分離工程の効率化を目指したプロセス技術の開発および多様なニーズに対する融雪剤製品の製造技術の開発を実施し、有機融雪剤の製造プラントの汎用化技術の確立を図ることを目的とした。

２．スタディの実施体制

本スタディでは、財団法人機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、財団法人エンジニアリング振興協会内に「有機融雪剤製造機械システムの開発に関する委員会」をそれぞれ設置した。また、スタディの実施のため、エンジニアリング振興協会内に実行組織を設置し、上記委員会の指導のもと、開発目標および開発計画の策定、実験の詳細計画作成、実験結果の解析・評価を実施した。

本スタディの実施体制を図 2-1 に示す。

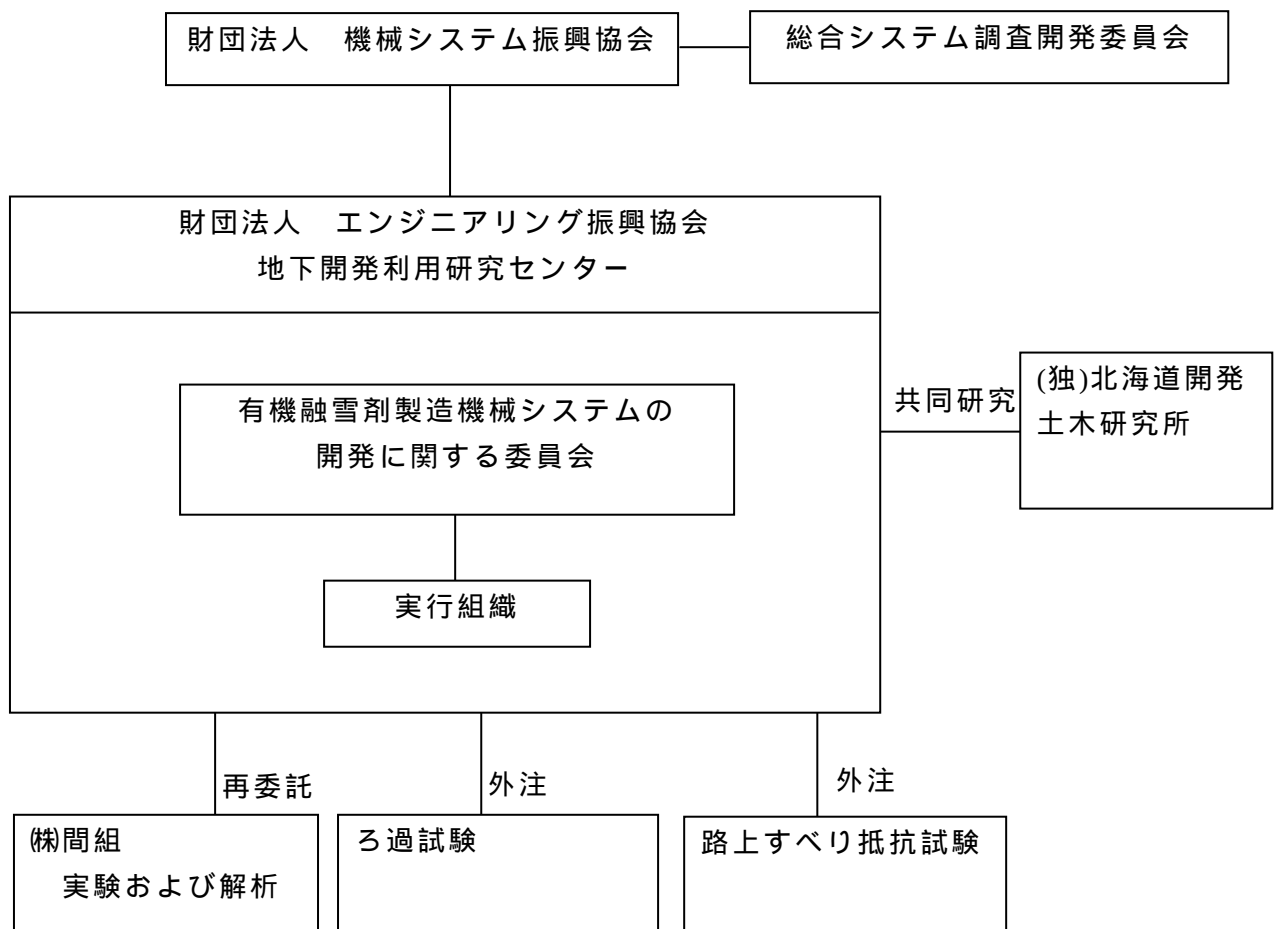


図 2-1 本スタディの実施体制

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 副学長	中 島 尚 正
委 員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤 正 巖
委 員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 シニアリサーチャ	志 村 洋 文

有機融雪剤製造機械システムの開発に関する委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	神田 鷹久	信州大学工学部物質工学科教授
委員	天野 良彦	信州大学工学部物質工学科助教授
委員	浅野 基樹	独立行政法人北海道開発土木研究所 道路部交通研究室長
委員	中田 仁史	社団法人食品需給研究センター 研究員
委員	今岡 孝	石川島播磨重工業株式会社 回転機械事業部汎用機械設計部分離機グループ 課長
委員	西原 潔	株式会社竹中工務店 環境ビジネスソリューション本部 課長
委員	吉村 和彦	株式会社間組 技術・環境本部環境事業開発部長
オブザーバ	北島 宏樹	経済産業省製造産業局産業機械課国際プラント推進室課長補佐
オブザーバ	富永 潤一	経済産業省経済産業政策局地域経済産業グループ産業施設課 課長補佐
オブザーバ	島津 久樹	農林水産省総合食料局食品産業企画課食品環境対策室課長補佐
オブザーバ	島田 雄二	経済産業省北海道経済産業局 環境資源部環境産業振興室長
事務局	宮川 彰彦	財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター 研究理事
事務局	前田 信行	財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター技術開発第一部 主任研究員
協力員	丸山 能生	株式会社間組 技術・環境本部技術研究所先端研究室長
協力員	山内 寛	株式会社間組 技術・環境本部技術研究所先端研究室 課長
協力員	佐々木 肇	株式会社間組 技術・環境本部技術研究所先端研究室 課長

３．スタディの内容

本スタディでは、主に積雪寒冷地の都市域を対象に、食品廃棄物を原料に用いて低環境負荷・低腐食型の融雪剤（凍結防止剤）を製造するシステムの普及技術の実現を目指し、汎用的な有機融雪剤製造システム開発のための検討、評価を実施した。

(1) 有機融雪剤の製造プロセスのプラント操業条件の研究

融雪剤製造プロセスの分解工程および分離工程の操業条件について検討し、処理時間の短縮と固液分離の効率化を図る。

多くの食品廃棄物に大量に含まれる繊維質（セルロース・ヘミセルロース・ペクチン等）の分解促進のため、分解液状化工程において一定の耐熱性を有する繊維質分解酵素を添加し、反応条件について検討する。酵素添加による分解促進により、分解液状化工程の時間短縮と食品廃棄物の高度分解を行う。

そして、食品廃棄物の高度分解によって、分解懸濁液の粘性低下による固液分離の効率化と分離固形残さの減量化を達成することにより、固液分離工程の大幅な効率化につながり、ろ過装置の小型化が可能となる。

繊維質分解酵素添加による分解液状化促進

- ・室内試験で市販の繊維質分解酵素混合剤を原料スラリーに添加して、分解液状化が促進可能な条件を見出し、分解液状化工程の時間短縮と食品廃棄物の高度分解を図る。また、きのこ廃菌床由来の繊維質分解酵素の適用の可能性についても検討する。
- ・実機拡張用のせん断撹拌分解機を用いて酵素添加による分解促進の検討を行う。

加圧ろ過試験によるろ過効率化・剥離特性の検討

- ・室内加圧ろ過試験により、原料スラリーの分解の効率化が分解懸濁液のろ過特性と固形残さの剥離性および分離固形残さの減量に与える効果を定量的に把握する。
- ・スケールアップ検討用の加圧ろ過試験機を用いて、効率的に分解した懸濁液のろ過特性、固形残さの脱水・剥離特性などを把握し、ろ過面積低減のための基礎データを得る。

(2) 有機融雪剤の雪質・用途条件に対する適用拡大実現の研究

積雪条件、雪質条件等の融雪剤使用条件を拡大するとともに、多様なニーズに広く対応できるようにするため、試作した有機融雪液剤の固形剤化およびすべり止め材への含浸などによる固形剤化製品製造の検討と試作した新規形態融雪剤の性能と適用性の評価を行う。また、融雪剤の取り扱い方法に関する条件についても検討を行う。

固形剤化により融雪剤の機能強化・適用拡大を達成することにより、融雪剤の取り扱い性能の向上と減容化に寄与し、融雪剤の散布システムの効率化や輸送・保管コストの低減につながることが期待され、広く一般に用途が拡大するものと考えられる。

融雪液剤の固形剤化

- ・試作した有機融雪液剤を乾燥により塊状にし、得られた塊を粉砕機で粒状に粉砕し、粒剤化する。また、調整した多孔質材料をすべり止め担体に用いて、有機融雪液剤を含浸させ、融雪剤含浸すべり止め材を試作する技術についても検討する。

新規融雪剤試作品の性能と適用性の評価

- ・ 固形剤化した融雪剤の融雪効果を把握するための室内試験を行い、試作融雪剤の融雪性能を定量的に評価する。
- ・ すべり摩擦抵抗値などを指標とした路上試験を実施し、試作した固形融雪剤等の効果について評価する。

融雪剤の取り扱い方法に関する条件検討

- ・ 融雪剤の形態（液剤、固形剤）ごとに、既存の散布機械システムを転用する場合の散布システムとしての適合性、使用者側からみた実用性などについての検討を行う。また、新規融雪剤の保管に関する条件検討を行う。

(3) 有機融雪剤の製造プラント設計技術の研究

施設汎用化に関する検討として、装置や施設の規模、複数形態（液剤、固形剤）の融雪剤を製造する場合の基本仕様を決定し、製造プラントのプロセスフロー条件を求める。

3.1 平成 16 年度以降の課題と要検討内容

平成 15 年度に実施したスタディから明らかとなった有機融雪剤製造プラント実用化の課題とあわせ、H16 年度以降に検討が必要とされた研究内容について表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 平成 15 年度に明らかとなった課題と要検討内容

有機 機 廃 棄 物 の 有 機 融 雪 剤 製 造 へ の 利 用	項目	平成 15 年度の実施内容と 明らかとなった課題	平成 16 年度以降の要検討内容
	有機 機 廃 棄 物 原 料 の 選 定	☐ 食品系有機廃棄物に限定 ・ りんご果汁残さと 調理残さから有機融雪剤を試作 ↓ <u>課題</u> ・ 有機分と富栄養塩濃度の低減 ・ 調理残さを原料とする場合の塩化物混入許容濃度の把握	■ 調理残さを利用した有機融雪剤の金属腐食性再評価 ☐ りんご果汁残さを原料に用いて製造効率化と製剤多様化検討実施 ・ 富栄養塩含有量の低さ ・ 寒冷地での発生量の多さ
	製造 工 程 の 効 率 化	☐ 高濃度・高流動性原料スラリー調製条件の明確化 ☐ 効率的な固液分離条件の明確化 ↓ <u>課題</u> ・ 原料固形分の分解性向上による分解工程、分離工程のさらなる効率化	■ 製造プロセス向上による製造工程効率化 ・ 繊維質分解酵素等の添加による原料固形残さの効率的分解 ・ 分解工程、分離工程の一層の効率化 ・ プラント操業技術の確立
	有機 融 雪 剤 製 品 性 能 の 向 上	☐ 室内融氷試験による融雪性能確認 ☐ 路上試験での凍結防止効果の確認 ↓ <u>課題</u> ・ 固形剤（粒剤）化やすべり止め材含浸製品化などによる性能・効果持続性向上、機能強化	■ 融雪剤の対象用途および使用条件の拡大を目指した多様な有機融雪剤製造プラントの実用化 ・ 固形融雪剤（粒剤）製造プロセスの検討と性能評価 ・ 有機融雪液剤含浸多孔性すべり止め材製造プロセスの検討と性能評価 ・ 各種形態融雪剤の取り扱い条件と既存散布システム改良に関する検討
	製造 プ ロ セ ス の 確 立	<u>課題</u> ・ 汎用性を有する製造プラントの実現 ・ 有機融雪剤製品製造コストの低減	■ 多様な有機融雪剤製造のための汎用プラント施設設計技術の確立 ・ 複数形態の有機融雪剤製造のための装置と施設規模およびプラント基本仕様の決定 ・ プラントのプロセスフロー条件検討

3.2 有機融雪剤の製造プロセスのプラント操業条件の研究

3.2.1 プラント操業条件の検討課題と研究内容

融雪剤製造プロセスの時間短縮と低コスト化を図るため、分解工程および分離工程の一層の効率化およびプラント操業条件について検討した。

平成 15 年度に実施した有機融雪剤製造プラントのスタディより明らかとなった製造プラント実用化の課題および平成 16 年度の研究内容を図 3.2.1-1 に示す。太い破線で囲んで示した部分が本章の内容に関する課題と研究内容である。

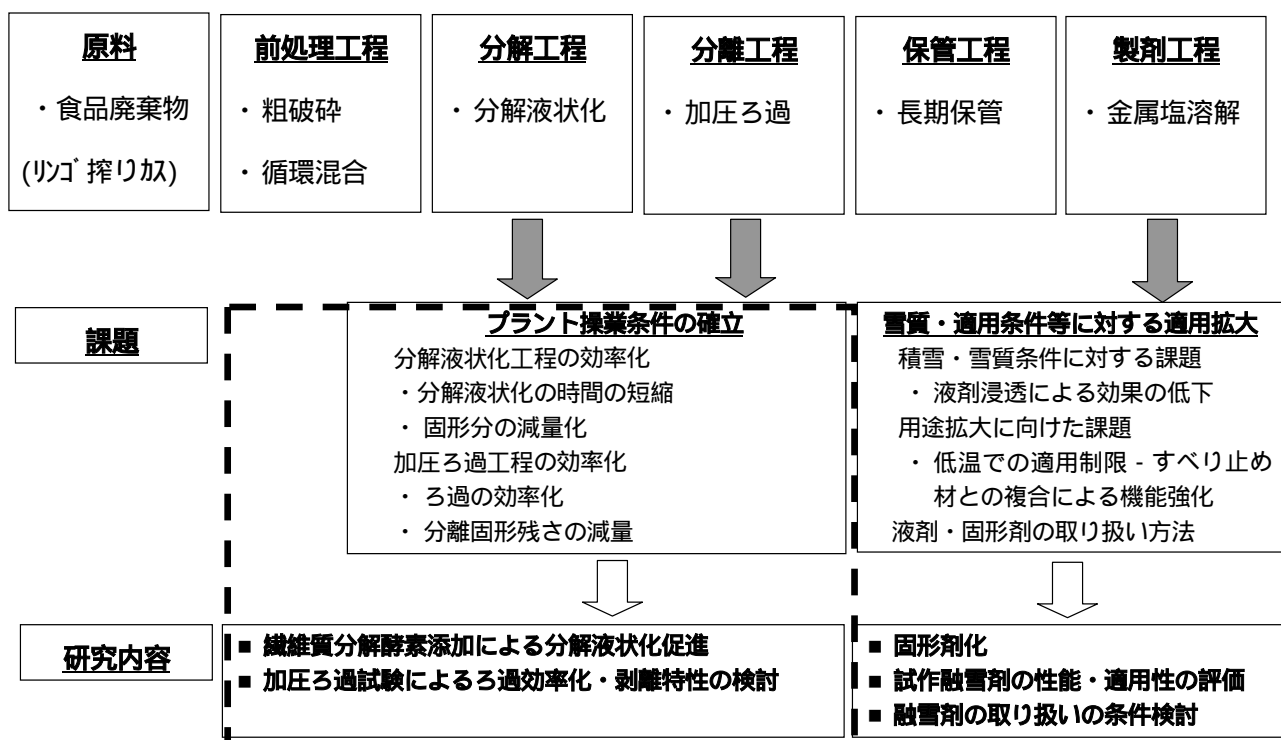


図 3.2.1-1 有機融雪剤製造プラント実用化の課題と平成 16 年度研究内容

有機融雪剤製造プロセスの一層の効率化とプラント操業条件を検討するための考え方と手順を図 3.2.1-2 に示す。

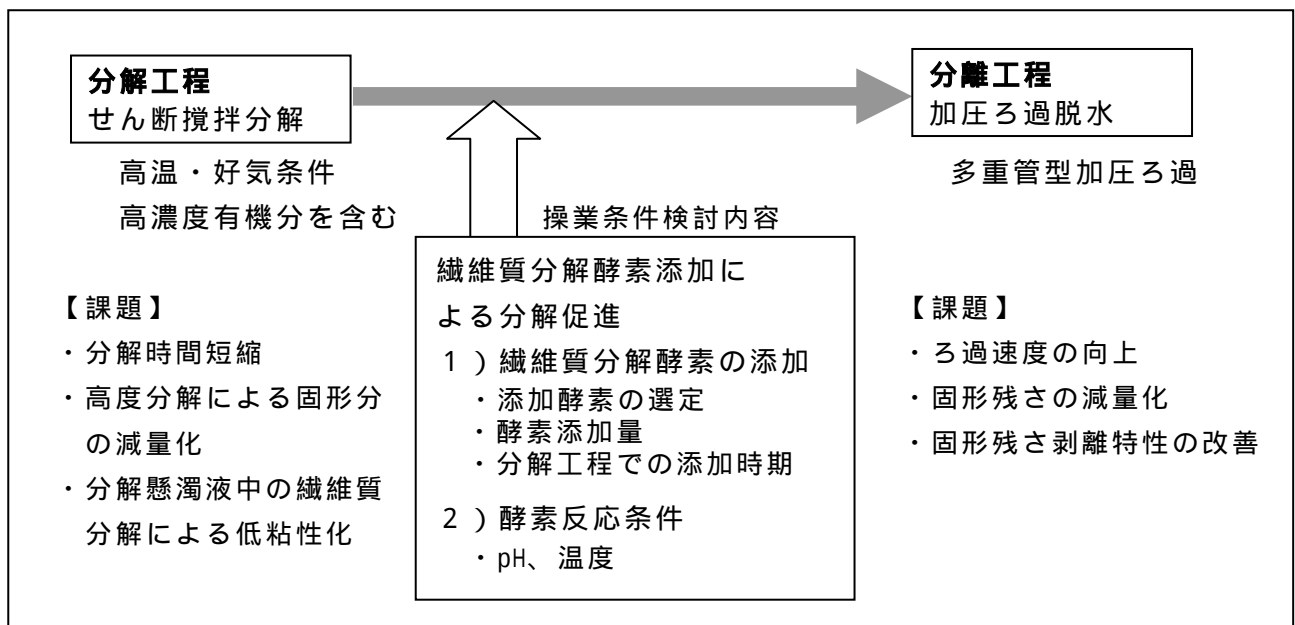


図 3.2.1-2 有機融雪剤製造プロセス効率化とプラント操業条件検討の考え方と手順

好気条件で高速撹拌分解処理する「せん断撹拌分解技術」を食品廃棄物加水スラリーの分解液状化工程に適用することにより、悪臭の発生なく、高温での固形分の分解可溶化が可能となった。しかし、固形分含量が非常に高い高濃度スラリーを原料とするため、分解が困難な繊維質が一部残り、固液分離工程実用化の妨げとなることが明らかとなった。

また、原料中の繊維質（多糖類）を分解して、有機分解液中に低分子有機分として回収できれば、原料の高度利用の実現につながると考えられる。

そこで、食品廃棄物に多く含まれる繊維質（セルロース・ヘミセルロース・ペクチン等）の分解を促進して分解液状化工程の時間短縮と食品廃棄物の高度分解を実現させるため、分解液状化工程において繊維質分解酵素を添加して分解を促進することを試みた。分解工程の効率化達成により、分解懸濁液の粘性低下による固液分離工程の効率化と分離固形残さの減量化を図った（図 3.2.1-2）。

3.2.2 原料の選定

有機融雪剤の原料に適した有機廃棄物として、塩化物の含有が少なく、比較的均質で内容物の変動も小さい工場発生の食品系事業廃棄物があげられる。国内で発生する代表的な食品系事業廃棄物のうち、未利用分が相当量認められるものの発生量と主な利用状況を表に示す（表 3.2.2-1）。

表 3.2.2-1 融雪剤原料に適した未利用食品系事業廃棄物

種類	水分	推定年間発生量	主な利用状況	積雪地での発生比率
おから	80%前後	75 万 t	肥飼料 86%、食品 4 %	-
焼酎かす	90%超	34 万 kL	肥料 19%、飼料 19%	低い
みかん果汁残さ	85%前後	2.5 ~ 15 万 t	飼料 87%	低い
りんご果汁残さ	80%前後	4.4 ~ 8.6 万 t	飼料 64%、肥料 13%	高い
馬鈴薯澱粉かす	90%超	77.7 万 t	飼料 70%	高い
甜菜製糖かす	50 ~ 30%	20 万 t (添加石灰含む)	農地還元 50%	高い

出典：有機廃棄物資源化大辞典（農山漁村文化協会刊、1997）に一部追加

平成 15 年度スタディでは、上記のうち、りんご果汁製造残さ（以下りんご搾りかすと記す）および事業系生ごみを原料に選んで有機融雪剤の試作を実施した。

りんご搾りかすは糖質などを多く含み、積雪寒冷地での発生が多くを占めるため融雪剤原料として有利で、さらに製造プロセスで過処理が困難な点から分解・分離装置仕様の検討のために有意義と判断し選定した。事業生ごみは季節的な排出量の変動が少なく、融雪剤（凍結防止剤）の使用量が多い都市部または市街域での発生が多いことから検討対象に選んだ。また、事業生ごみでは、異物混入の少ない調理残さを原料に用いた。

馬鈴薯澱粉かすは寒冷地での発生量が多く、原料への適用が期待されるが、富栄養塩（リン、窒素）の含有が多く、現時点でそれらの安価な除去手段がないことから検討対象から除いた。

平成 15 年度の試作有機融雪剤の試作、性状分析により、以下のことがわかった。

- ・りんご搾りかす、調理残さのいずれを原料に用いても、十分な融氷性能を有する有機融雪剤を製造可能である。
- ・りんご搾りかすを原料に用いた融雪剤は金属腐食性をまったく示さなかった。
- ・調理残さを原料に用いた場合、塩化物（塩素）イオンが 0.2 ~ 0.3% 含まれ、10 倍近くに希釈した有機融雪液剤に低炭素鋼を浸漬する試験で腐食性が確認された。

平成 16 年度においては原料をりんご搾りかすに限定して、プラント操業条件および融雪剤の適用拡大の検討を行うものとした。事業生ごみ（調理残さ）については、平成 15 年度に試作した融雪剤を用いて金属腐食性の再試験を行うにとどめる。

3.2.3 繊維質分解酵素添加による分解液状化促進

室内試験において、市販の繊維質分解酵素剤を原料破砕スラリーに添加し、分解液状化を十分に促進可能な条件を見出し、分解液状化処理の時間短縮と食品廃棄物の高度分解を図った。市販繊維質分解酵素は、セルロース分解酵素（セルラーゼ）、ヘミセルロース分解酵素（ヘミセルラーゼ）、ペクチン分解酵素（ペクチナーゼ）等を含む粗酵素を用いた。また、きのこ廃菌床に含まれる繊維質分解酵素の適用可能性についても検討した。

室内検討の結果を踏まえ、実機拡張用モデル分解機での酵素添加量・反応条件を決定し、1,000L 容量のせん断攪拌分解機を用いた繊維質分解促進試験を行った。

a) 市販酵素添加室内試験による分解促進試験

1) 試験方法

(1) 試験管内分解促進試験

りんご搾りかす加水スラリー（以下りんごスラリーと記す）を対象に、繊維質分解酵素添加による効果の確認と酵素投入時期の条件決定のための室内試験を実施した。

試験は試験管内での予備試験と小型発酵槽を用いた分解試験により、酵素による分解促進の効果を判定した。具体的な酵素分解試験の手順と考え方を図 3.2.3-1 に示す。

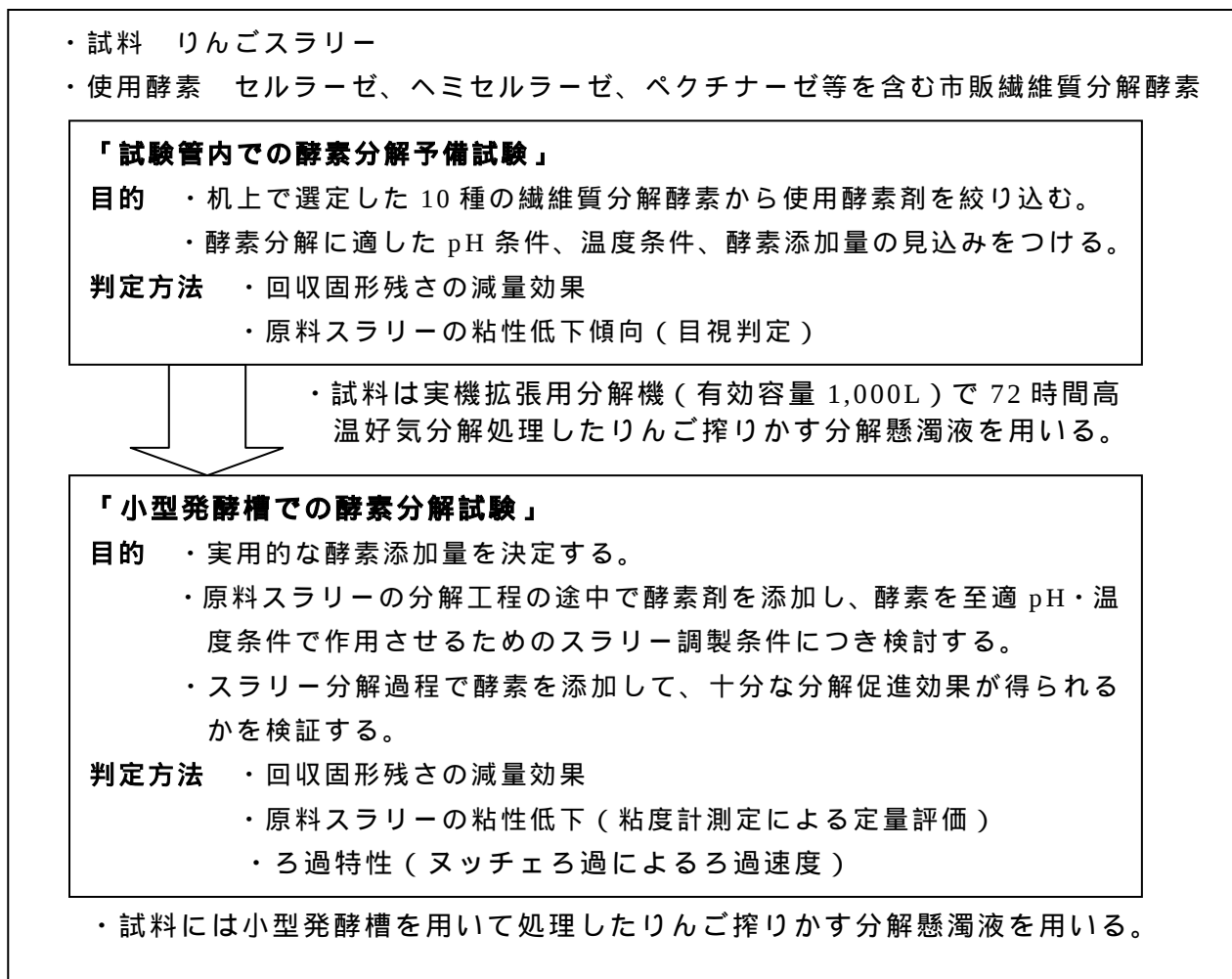
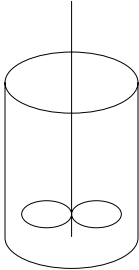


図 3.2.3-1 室内での酵素分解試験の手順と考え方

(2) 小型発酵槽分解促進試験

小型の攪拌分解槽を用いて、りんご搾りかすを原料に、図 3.2.3-2 に示す条件で好気攪拌分解処理してりんご分解懸濁液を調製した。



スラリー原料・添加物

- ・原料スラリー：130ml りんごスラリー + 水道水 260ml
- ・添加物：上記スラリーに水酸化ナトリウムを加えて pH10 に調整した後、0.05% ~ 0.1% の炭酸カルシウム粉末を添加した。

小型発酵槽装置・処理条件

- ・内容積 700ml (有効容量 500ml) の小型発酵槽を用いた。
- ・分解は 65℃ 定温で、試料 pH が約 5 となるまで約 44 時間行った。
- ・通気速度は 2 vvm (通気量分当たり分解槽内容積の 2 倍) とした。
- ・攪拌装置は 1 段の攪拌翼を使用し、攪拌速度を 200rpm に設定した。

図 3.2.3-2 りんご分解懸濁液試料調製の条件

図 3.2.3-2 の方法で調製したりんご分解懸濁液を試料に、表 3.2.3-1 に示す条件で、小型発酵槽を用いた分解促進効果確認試験を実施した。

使用した小型発酵槽および通気・攪拌などの条件は分解懸濁液試料の調製の装置・条件と同一である。

表 3.2.3-1 小型発酵槽を用いた酵素添加効果確認試験の条件

<u>使用酵素と処理条件</u>	
・使用酵素：試験管内での分解促進予備試験で選定したセルラーゼ XP - 425 (ナガセケムテックス社製) を用いた。	
・処理条件：試料分解懸濁液を pH5.0 に調整したのち酵素を添加し、50℃ ~ 60℃ で 6 時間、好気攪拌条件下熱処理した。処理開始後 2 時間ごとに 5℃ 上昇させた。	
<u>試験ケース</u>	
・対照試験：酵素無添加	
・酵素添加 1：市販酵素 0.1%	りんご分解懸濁液試料 390ml に対し 0.39g 添加
・酵素添加 2：市販酵素 0.2%	りんご分解懸濁液試料 390ml に対し 0.78g 添加
・酵素添加 3：市販酵素 0.3%	りんご分解懸濁液試料 390ml に対し 1.17g 添加

2) 試験管内予備試験

セルラーゼ、ヘミセルラーゼ、ペクチナーゼのうち少なくとも2種類の酵素を含む数ある市販繊維質分解酵素より、机上検討により10種の候補を選択して用いた。

- ・実機拡張用モデルで分解したりんごスラリーに各酵素を1%添加して、pH5、45で2時間熱処理し、固形残さは遠心分離（5,000rpm）により回収した。

- ・試料量は20mlとしたため、粘度低下効果は目視により判定した。

試験の結果を表3.2.3-2に示し、絞り込んだ5種類の酵素の性質を表3.2.3-3に示す。

表 3.2.3-2 試験管内予備分解試験結果

添加酵素名	粘度低下効果	回収固形残さ		分解効果の総合判定
		重量 (g)	相対重量 (%)	
ペクチナーゼ X P - 534	低め	7.4	86	
ドリセラーゼ	高い	3.1	36	
セルラーゼ X P - 425	高い	2.7	31	
セルラーゼ X L - 531	高い	3.2	37	
スクラーゼ S	低め	5.9	69	
スクラーゼ N	高め	5.3	62	
セルロシン P E 60	高い	4.5	52	
セルラーゼ A アマノ 3	高い	3.7	43	○
マセロチーム A	高め	6.5	76	
セルラーゼ オノヅカ 3 S	高い	3.3	38	
無添加・無処理	効果なし	8.6	100	-

以上の結果から、 、 、 、 、 の5種類の酵素に絞り込んだ。

表 3.2.3-3 選定酵素製剤の性質

酵素製剤名 ＜生産菌＞	60 安定性	50 安定性	至適温度 ()	pH 6 安定性	pH 6 相対 活性 (%) *	至適 pH
ドリセラーゼ ＜サルノコシカケ＞	×		30 - 50	○	65	3 ~ 5.5
セルラーゼ X P - 425 ＜トリコデルマ属かび＞	～ ○	○	50	○	65	4 ~ 6
セルラーゼ X L - 531 ＜黒麹かび＞	○	○	55	○	35	3.5 ~ 5
セルラーゼ A アマノ 3 ＜黒麹かび＞	～ ○	○	55	○	60	4 ~ 5.5
セルラーゼ オノヅカ ＜黒麹かび＞		○	55	○	50	4 ~ 5

* pH 6 での相対活性：各酵素の至適 pH での活性（活性最高値）を100としたときの相対値

3) 2次試験管内予備試験

酵素添加量を 0.1%（原料スラリー 1L 当たり 1 g、1,000L 当たり 1 kg）として、以下の各条件で繊維質の酵素分解処理を行った。

- ・実機拡張用モデルで分解したりんごスラリーを対象に、pH4.5～5、50～65 で 8 時間熱処理した。固形残さは遠心分離（5,000rpm）により回収した。
- ・スラリー温度は初発の 50 から 2 時間経過ごとに 5 上昇させた。
- ・スラリー pH は pH 5 にあわせたが、酵素反応処理後いずれも 4.5 強に低下した。
- ・試料の量は 20ml としたため、粘度計での測定試料量（500ml 弱）には満たず、粘度低下の効果は目視により判定した。

試験結果を表 3.2.3-4 に、分解処理後の回収固形残さ重量の比較（固形残さの減量率）を図 3.2.3-3 に示す。

表 3.2.3-4 2次試験管内分解試験結果

添加酵素名	粘度低下効果と処理後 pH				回収固形残さ		総合判定
	4 時間後 (55)		8 時間後 (65)		重量 (g)	相対重量 (%)	
	粘度	pH	粘度	pH			
ドリセラーゼ	高め	4.8	高め	4.6	4.78	76	○
セルラーゼ X P - 425	高い	4.8	高い	4.7	4.22	68	
セルラーゼ X L - 531	低め	4.8	高め	4.7	4.92	78	○
セルラーゼ A アマノ 3	低め	4.7	低め	4.6	5.31	84	
セルラーゼ オノヅカ	低め	4.7	高め	4.6	5.25	83	
無添加	効果なし	4.9	効果なし	4.8	6.32	100	-

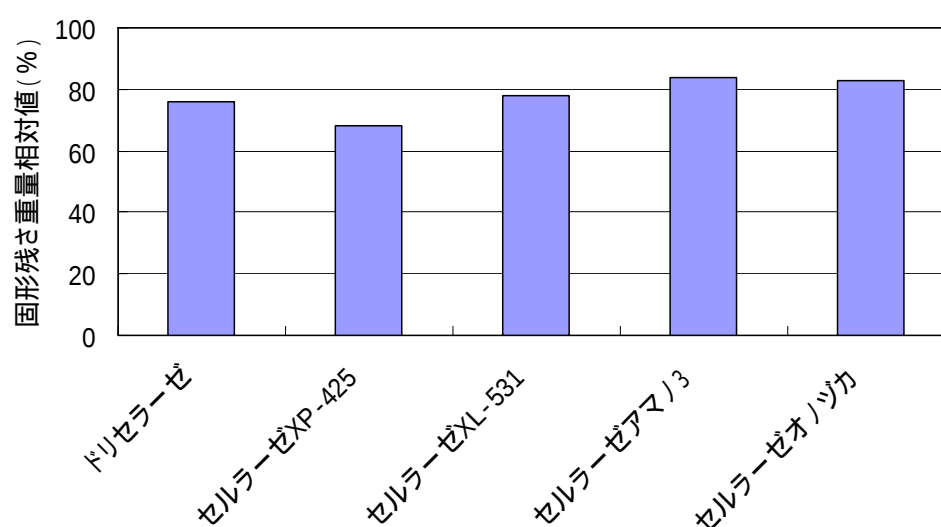


図 3.2.3-3 固形残さの相対重量の比較

試験管内酵素分解予備試験の結果より、以降の分解促進試験は以下の条件で実施することとした。

- (1) りんごスラリーの分解促進用酵素には、セルラーゼ XP-425 (ナガセケムテックス社製) を使用する。
- (2) 酵素投入の条件は、上記酵素が最も高い活性を示す「pH5.0、50」を基本とする。
- (3) 上記繊維質分解酵素の添加量 (重量%) は 0.1% を目安とする。

4) 小型発酵槽分解促進試験

小型発酵槽を用いた分解促進試験の結果を表 3.2.3-5 に示す。市販酵素の添加量 0.1%、0.2%、0.3% のすべての試験ケースにおいて、試料懸濁液の粘度低下とろ過速度の向上および固形残さ重量の減少が確認された。

表 3.2.3-5 市販酵素添加による小型発酵槽分解促進試験結果

試験ケース	粘度* (mPa・s)	ろ過効率		固形残さ乾重 (g) / 相対値 (%)
		ろ過時間 (分)	ろ過速度 (L/m ² ・hr)	
対照試験 酵素無添加、無処理	35 (無希釈 で 300 超)	97	18.7	2.87 / 100
対照試験 酵素無添加	15	44	41.2	2.70 / 94
酵素添加 1 (XP-425 0.1%)	5	20	90.6	1.02 / 36
酵素添加 2 (XP-425 0.2%)	3.5	32	56.6	0.72 / 25
酵素添加 3 (XP-425 0.3%)	3.5	30	60.4	0.68 / 24

*粘度:簡易粘度測定装置を用いて測定した。測定に必要な試料の量は 500ml であるため、390ml の試料に 145ml の脱イオン水を加えて測定した。

ろ過効率: プフナーロート (ヌッチェ) ろ過器でろ過試験を実施し、約 0.5L のろ液が 0.0177m² のろ過面積を通過したろ過時間 (hr) からろ過速度 (L/m²・hr) を求めた。

小型発酵槽を用いた分解促進試験の結果から明らかとなったことを整理して記す。

- (1) りんご分解懸濁液試料に市販酵素セルラーゼ XP-425 を添加することで、繊維質が効果的に分解され、粘度低下とろ過速度向上および固形残さの減量が可能であった。
- (2) 酵素添加量 0.1% 以上で十分な固形残さ量の減少がみられるが、粘度低下の結果などから、実機拡張モデルでの分解では、酵素添加量は 0.2% 以上が望ましいと考えられる。ただし、実機拡張モデルでの分解では、原料スラリー濃度を室内試験の倍近くとしていることから、酵素添加量は 0.3% に設定するものとする。

b)実機拡張モデル分解機での分解促進試験

有効容量 1,000L の実機拡張用モデル分解機を用いて分解液状化促進試験を実施した。試験の原料にはりんご搾りかすを用い、分解液状化工程の途中で適量の市販繊維質分解酵素剤を原料スラリーに添加して、分解促進と粘度低下の効果につき検証した。

また、室内試験で決定したスラリー調製条件（初期 pH 調整のうえアルカリ鉱物添加）において、懸濁液の pH・温度管理を酵素添加に適した範囲に調整可能なことを確認した。繊維質分解酵素は、室内試験で選定した酵素製品（セルラーゼ XP-425）を用いた。

1) 原料スラリーの調製

りんご搾りかすを原料とする加水スラリーの調製条件を表 3.2.3-6 に示す。

表 3.2.3-6 実機拡張モデルでの減量スラリーの調製

りんご搾りかす（品種：津軽）	430kg
水道水	510 L
Total 940L （スラリーの初期 pH = 3.3）	
・水酸化ナトリウム水溶液で pH10.0 に調整後、0.05%（470g）の炭酸カルシウム粉末を添加混合した。	

2) せん断攪拌分解処理

- ・酵素添加：分解槽内温度が 55 近くで酵素を添加した。酵素添加前に酢酸 1 L を添加し、酵素の至適 pH である 5 近く（pH7.4 → pH5.2）に低下させた。
- ・酵素添加量：りんごスラリー 940L に対し 0.3%（重量 / 容量）の 2.82kg を添加した。
- ・処理条件：攪拌速度 560rpm、通気速度約 2 vvm（1 分当たり容器の 2 倍量）とした。

分解促進試験における温度と pH の経時変化を図 3.2.3-4 に示す。

[分解槽内の温度と pH の経時変化]

時間 hr	温度 ()	pH
0T	23	9.5
10	55	7.4
10.5	55	5.2
12	57	5.3
16	65	5.2
20	70	5.2
24	73	5.1
36	78	5.2
40	80	5.1
44	81	5.0
48	81	4.9
48	81	4.9

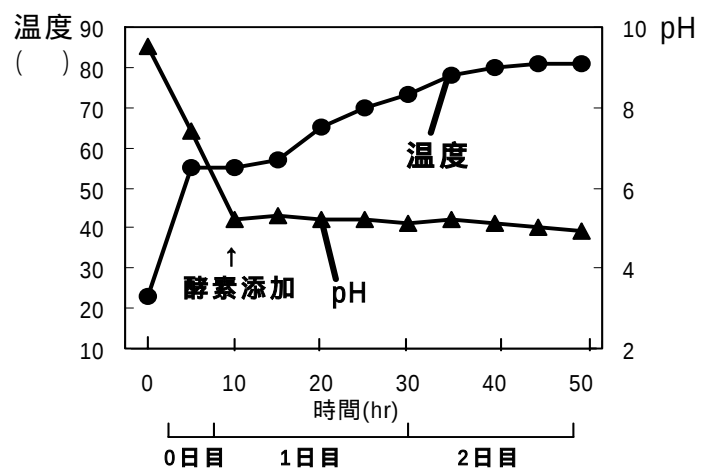


図 3.2.3-4 実機拡張モデル分解機の分解促進試験における温度と pH の経時変化

3) 簡易粘度測定

分解促進試験における粘度の経時変化を図 3.2.3-5 に示す。

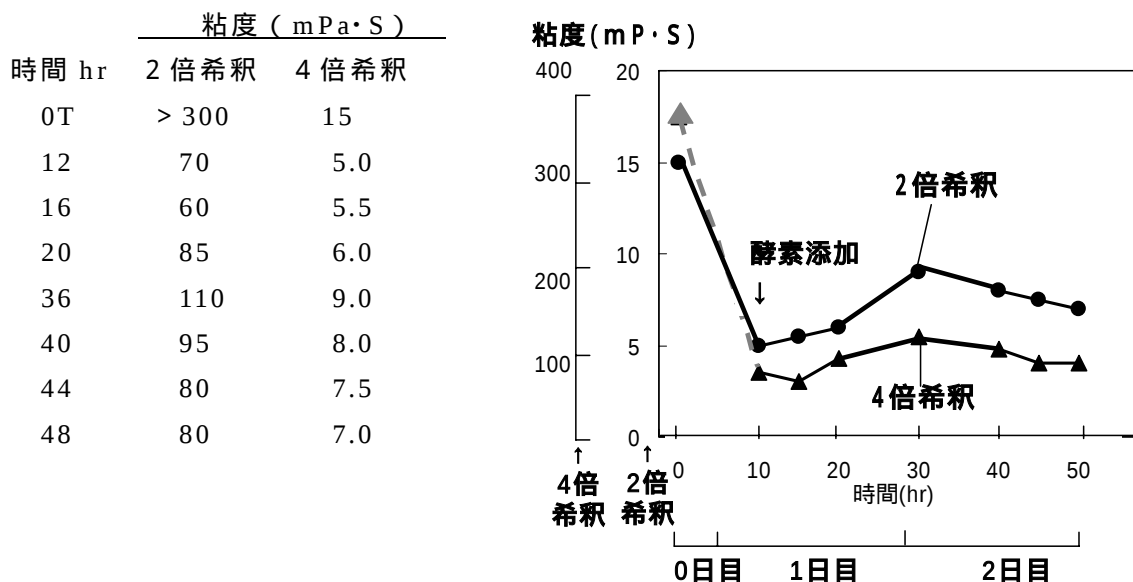


図 3.2.3-5 実機拡張モデル分解機分解促進試験での懸濁液の簡易粘度測定結果

実機拡張モデル分解機を用いた分解促進確認試験の結果を以下に整理して記す。

- ・せん断撹拌処理を従来の 72 時間より 1 日短い 48 時間で終了した。酵素の活性発現に好適な条件で繊維質分解酵素を添加し、粘度の変化から酵素添加の効果を確認できた。
- ・酵素添加による粘度の上昇はりんご繊維質のセルロース・ヘミセルロース・ペクチンなどの高分子多糖の絡み合いがほぐされ、それらが水に溶出したためと考えられる。
- ・初期の酵素分解後も徐々に多糖の溶出は続いたが、多糖類の酵素による分解がまさって高分子多糖の分子量が低くなり、速やかに粘度低下に転じたと考えられる。
- ・固形残さの減量効果は顕著なものではなかった。その原因は、室内試験では原料スラリーを長時間熱処理したのちに酵素を作用させたため固形残さの減量効果が高いのに対し、大型分解機を用いた試験では熱分解が十分進む前の時点で酵素を添加すること、また原料の固形有機分濃度が室内試験での 2 倍ほど高い点にあると推測される。

c)きのこ廃菌床の繊維質分解酵素適用検討

市販の繊維質分解酵素は比較的高価なため、有機融雪剤製造コストの上昇は避けられないと予想される。そこで、分解処理コストの低減のため、寒冷地での発生量が多いきのこ廃菌床の繊維質分解酵素源としての利用可能性について検討した。きのこ廃菌床に繊維質分解酵素が含まれ、それを抽出利用可能なことは、長野県農村工学研究所等による研究によりすでに確認されている。

きのこ廃菌床をりんごスラリー等の分解促進に適用するための検討内容を表 3.2.3-7 に示す。

表 3.2.3-7 きのこ廃菌床を用いたりんごスラリー分解促進検討の内容

農産廃棄物（えのきたけ、ぶなしめじたけ栽培後の廃菌床）からの繊維質分解酵素の抽出方法、製剤化条件の検討

抽出した繊維質分解酵素の大まかな性質の把握

- ・ 酵素剤の至適 pH、至適温度
- ・ 好適な条件における繊維質酵素活性（セルラーゼ、ヘミセルラーゼ等）

りんごスラリー熱分解処理物を対象に、抽出酵素剤が十分な粘度低減と固形分減量の効果を示すことの確認

寒冷地での生産量が多いえのきたけとぶなしめじたけの人工栽培で発生する廃菌床に含まれる繊維質分解酵素が、りんごスラリーの分解促進に利用可能か否かを、室内分解促進試験により検討した。

1) 繊維質分解酵素の粗精製とその特性

(1) 繊維質分解酵素の粗精製（出典：長野県農村工業研究所報告書）

えのきたけおよびぶなしめじたけ廃菌床からの繊維質分解酵素（セルラーゼ・ヘミセルラーゼ）の粗精製の方法と粗酵素粉末の収率を表 3.2.3-8 に示す。

表 3.2.3-8 きのこ廃菌床からの繊維質分解酵素の粗精製方法と回収率

廃菌床原料からの粗酵素液回収と乾燥粉末化

菌床に等量の中性リン酸緩衝液を加え、廃菌床を良くほぐした後、攪拌混合する。

この菌床懸濁液を圧搾機にかけ、20MPa の圧力で粗酵素抽出液を回収する。

遠心分離（12,000 × g）とろ紙ろ過により粗酵素抽出液から微粒子等を除く。

得られた粗酵素液に 2 倍容量（えのきたけ）または 1.5 倍容量（ぶなしめじたけ）のエタノールを加え、酵素蛋白質の沈殿を得て、これを乾燥させて粗酵素粉末標品とする。

廃菌床からの粗酵素粉末の回収率

- ・ 粗酵素粉末の収量は菌床培地成分により変動は認められるが、以下のものであった。

0.5% ～ 1.8%（菌床の湿重量に対して回収された粗酵素粉末の重量）

すなわち、1 kg の廃菌床から 5 g ～ 18 g の粗酵素エタノール乾燥粉末が得られる。

(2) 繊維質分解酵素の性質（出典：長野県農村工業研究所報告、信州大学工学部物質工学科機能物質化学研究室研究報告）

えのきたけとぶなしめじたけ両者から得られる粗酵素の各 pH・温度での相対活性と安定性などの性質の概要を表 3.2.3-9 に示す。

酵素の性質はセルラーゼ活性とヘミセルラーゼ（キシラナーゼ）活性に分けて示した。えのきたけ粗酵素では、代表的な酵素活性としてヘミセルラーゼ活性のみ明らかとなっている。

表 3.2.3-9 廃菌床から回収した粗酵素の性質

繊維質分解酵素の性質

- ・ えのきたけとぶなしめじたけ両菌床から回収される繊維質分解酵素のセルラーゼ・ヘミセルラーゼともに、活性の至適 pH は微酸性（pH 5 ～ 6.5）にあり、pH 5 ～ 7 において安定である。
- ・ 各酵素の至適温度は 40 ～ 50 にあり、温度安定性については糖基質のない条件においても 40 ～ 50 まで一定の時間活性が保持されることがわかっている。

2) りんご搾りかす加水スラリーに対する繊維質酵素分解酵素処理の効果

予備分解試験として、熱分解処理済みのりんご搾りかす加水スラリーの熱処理物（分解懸濁液）を試料として、廃菌床の破砕物または廃菌床粗酵素を加えて繊維質分解促進効果を調べたが、十分な効果は確認されなかった。

予備分解試験で明らかとなったことを以下に整理して記す。

- ・ 廃菌床の破砕物を添加した場合、破砕物添加による固形残さの増量によるデメリットの方が大きく、酵素による分解促進効果を確認できなかった。
- ・ りんご分解懸濁液に対し、えのきたけ粗酵素では 0.1 ～ 0.5 % を、ぶなしめじたけ粗酵素では 0.1 ～ 1.0 % を添加（いずれも重量/容量 %）してその効果を調べたが、流動性改善および固形残さの減量ともに顕著な効果を確認できなかった。

上記の結果は、きのこ菌床から回収した粗酵素には、セルラーゼとヘミセルラーゼ（キシラナーゼ）が含まれるが、りんご繊維質の多くを占める多糖であるペクチンの分解酵素活性が十分に含まれていないことが一因となっていると推定された。

そこで、好熱菌ときのこ繊維質分解酵素の両者を加えることによって促進分解を図ることを前提として、熱処理による分解の進んだりんごスラリーにペクチン分解酵素を産生する好熱菌を添加して分解懸濁液試料を調製し、きのこ酵素による分解促進効果の評価を行うこととした。

(1) 試験管内分解促進試験

(a) 試験方法

分解懸濁液試料は、以下の手順で調製したりんご分解懸濁液を用いた。

りんご搾りかすに倍量の水道水を添加しアルカリで pH10.0 に調整する。

0.1%の炭酸カルシウム微粉末を添加混合する。

小型発酵槽を用いて 65 にて 32 時間好気攪拌分解処理を実施したのち、微量の酢酸を添加して pH 5 に調整する。

上記熱分解スラリーに 1/100 容量の好熱菌培養液*を加え、55 で 12 時間好気攪拌条件下において処理する。

(*好熱菌培養液：中性液体培地で 55 にて約 1 日好気培養した菌液であり、生菌数は約 10^{13} /ml で、培養後の培地 pH は 4.5 であった。)

酵素添加処理の条件および測定の手順を図 3.2.3-6 に示す。

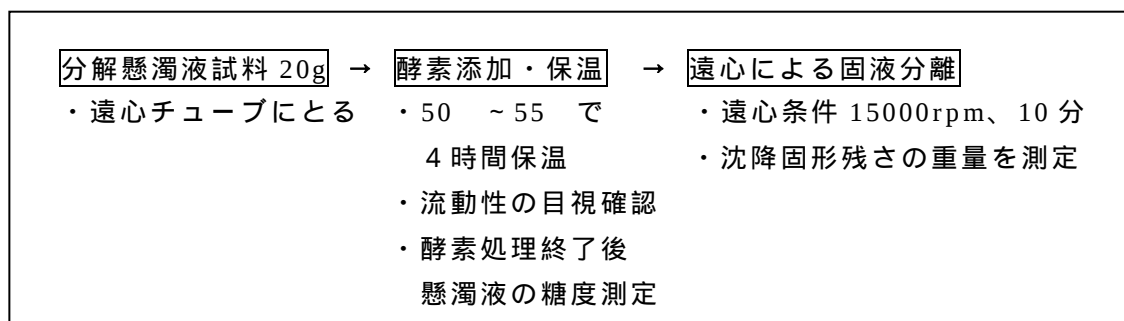


図 3.2.3-6 きのご酵素添加効果予備試験の条件と手順

(b) 試験結果

試験結果を表 3.2.3-10 に示す。

表 3.2.3-10 きのご酵素添加による試験管内分解促進試験結果

酵素添加条件	流動性 改善効果	糖度 (上昇率%)	固形残さ減量効果	
			固形残さ湿重(g) /(%)	残さ減量率 (%)
酵素無添加	-	4.3 (-)	8.95	0
セルラーゼ XP-425 0.1%	効果あり	4.4 (2)	6.01 (67.2)	32.8
えのきたけ粗酵素 0.2%	効果なし	4.6 (7)	7.53 (84.1)	15.9
えのきたけ粗酵素 0.5%	多少効果あり	5.1 (18)	6.94 (77.5)	22.5
ぶなしめじたけ 粗酵素 0.5%	効果なし	4.9 (14)	7.79 (87.0)	13.0
ぶなしめじたけ 粗酵素 1.0%	多少効果あり	5.8 (35)	6.68 (74.6)	25.4

糖度：Brix 計（簡易糖度計）を用いて計測した。

きのこ粗酵素による試験管内分解促進試験の結果を整理して記す。

- ・ えのきたけ、ぶなしめじたけの両廃菌床から回収した粗酵素を用い、0.5～1.0% を添加すれば市販酵素と同様の粘度低下および固形残さ減量の効果が得られる。
- ・ 小型発酵槽を用いた分解促進試験は、酵素添加量が少量で済むえのきたけ粗酵素を使用して実施することとする。

(2) 小型発酵槽分解促進試験

(a) 試験方法

- ・ 市販酵素を用いた小型発酵槽での分解促進試験と同じ装置および処理条件で、きのこ廃菌床由来の粗酵素粉末を添加して分解促進試験を実施した。すなわち、装置は500ml有効容量小型発酵槽を使用し、好気攪拌条件下(通気速度2vvm、攪拌速度約200rpm)で50～60℃において6時間熱処理した。
- ・ きのこ酵素の試験管内分解促進試験に用いた試料の調製と同じ方法で、65℃での好気攪拌熱処理後、55℃で好熱菌添加処理を施したりんご分解懸濁液を試料に用いた。
- ・ 試験ケースは以下の4ケースとした。

酵素無添加

市販酵素セルラーゼ XP-425 0.1%

えのきたけ粗酵素 0.2%

えのきたけ粗酵素 0.5%

(b) 分解促進試験結果

小型発酵槽分解促進試験の結果を表 3.2.3-11 に示し、固形残さ減量率の比較を図 3.2.3-7 に示す。

表 3.2.3-11 きのこ粗酵素添加による小型発酵槽分解促進試験結果

試験ケース	粘度* (mPa・s)	ろ過効率		固形残さ減量効果	
		ろ過時間 (分)	ろ過速度 (L/m ² ・hr)	固形残さ乾重(g) / 相対値(%)	減量率 (%)
対照試験 酵素無添加	40	151	23.9	3.11 / 100	-
セルラーゼ XP-425 0.1%	12	40	45.3	2.21 / 71	29
えのきたけ 粗酵素 0.2%	30	42	43.1	2.60 / 84	16
えのきたけ 粗酵素 0.5%	16	44	41.1	2.41 / 77	23

*粘度：簡易粘度測定装置を用いて測定した。測定試料量が500ml以上必要なため、390ml試料に145mlの脱イオン水を加えて測定した。

ろ過効率：プフナーロート(ヌッチェ)ろ過器でろ過試験を実施し、約0.5Lのろ液が0.0177m²のろ過面積を通過したろ過時間(hr)からろ過速度(L/m²・hr)を求めた。

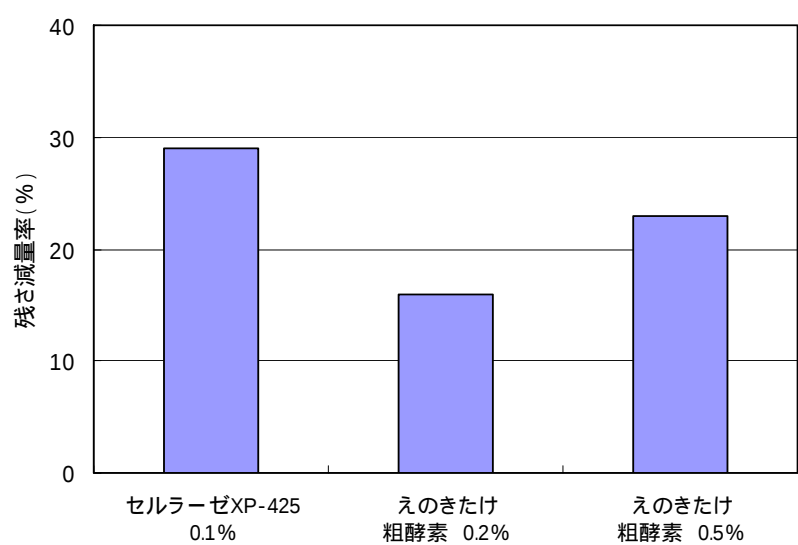


図 3.2.3-7 残さ減量率の比較

きのこ粗酵素による小型発酵槽分解促進試験の結果から明らかとなったことを整理して記す。

- ・ えのきたけ廃菌床から得られる繊維質分解酵素を用いて、りんご分解懸濁液の促進分解処理を施すことで、ろ過効率向上など市販酵素を用いた場合と同様の固液分離に対する効果が得られる可能性がある。
- ・ ただし、きのこ廃菌床由来酵素をりんごスラリーの分解促進に用いる場合、同時にペクチン分解酵素産生能を有する好熱菌の接種が必要である。

3.2.4 加圧ろ過における固液分離効率化

実機拡張モデル分解機を用いて、繊維質分解酵素を添加してせん断攪拌分解処理して得られたりんご搾りかす分解懸濁液（以下りんご分解懸濁液と記す）を対象に、室内およびベンチスケールでの加圧ろ過試験を実施した。

a) 小型加圧ろ過試験機を用いたろ過・剥離特性確認

1) 室内加圧ろ過試験

小型加圧ろ過試験機を用い、酵素処理後のりんご分解懸濁液を対象にろ過速度、剥離特性等を測定確認し、酵素無添加の場合と比較した。

小型試験機を用いた室内加圧ろ過試験の結果を表 3.2.4-1 に示す。

表 3.2.4-1 室内加圧ろ過試験の結果

試料	加圧ろ過の条件	ろ過試験結果
「酵素添加処理りんご分解懸濁液」(小型発酵槽使用、65℃にて44hr熱分解した後セルラーゼ XP-425 を 0.1% 添加し 8 時間熱処理)	- ろ布素材：PP30MU - 添加助剤：ラジオライト #900 4%ボディフィード - 加圧：0.15 - 0.2MPa	ろ過速度：150～200L/m ² hr 固形残さ剥離性：良 ・酵素無添加と比較して固形残さは約半量に減量した。
「酵素無添加熱分解処理りんご分解懸濁液」(小型発酵槽使用、65℃にて44hr好気攪拌熱分解処理)	- ろ布素材：PP30MU - 添加助剤：ラジオライト #800 4%ボディフィード - 加圧：0.15 - 0.2MPa	ろ過速度：40～50L/m ² hr 固形残さ剥離性：不良

室内加圧ろ過試験の結果を整理して記す。

- ・りんご分解懸濁液に酵素 0.1%を添加したうえで促進分解処理することにより、酵素処理をしない場合と比べ加圧ろ過速度が向上し、固形残さの減量と剥離性の改善がなされた。
- ・加圧ろ過の条件検討の結果、ろ過助剤（珪藻土、商品名ラジオライト）の添加量は、ろ過速度を重視すると従来どおりの投入量とするのが望ましいと判断された。

b) 多重管型ろ過試験機を用いたスケールアップ・自動化検討

実機拡張モデル分解機で酵素を添加して分解処理したりんご分解懸濁液を試料に、多重管型加圧ろ過試験機（写真 3.2.4-1）を用いてスケールアップの基礎データ取得のための試験を実施した。

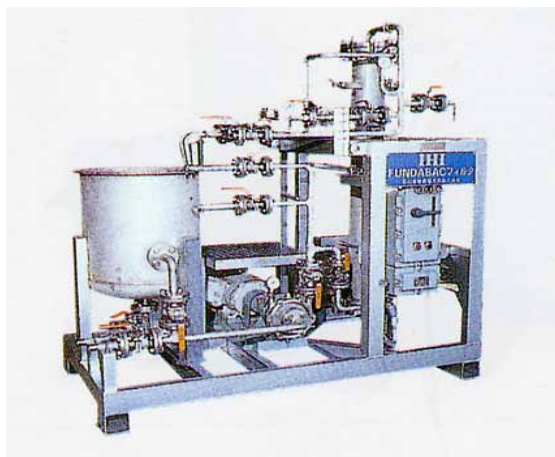


写真 3.2.4-1 多重管型加圧ろ過試験機

1) スケールアップ検討ろ過試験

多重管型加圧ろ過試験機でのろ過試験結果を、H15 年度の酵素無添加の場合と対比して表 3.2.4-2 に示す。

表 3.2.4-2 多重管型加圧ろ過機でのろ過試験の結果

試料	加圧ろ過の条件	ろ過試験結果
酵素添加処理したりんご分解懸濁液(実機拡張モデルを使用、セルラーゼ XP-425 0.3% 添加、48 時間好気攪拌分解処理)	- ろ布素材：PP30MU - 添加助剤：ラジオライト # 2000 4 % - 加圧：0.1 - 0.3MPa	ろ過速度：270 ~ 330L/m ² ・hr 固形残さ剥離性：良 ・固形残さは無添加の場合とほとんど同じであった。
酵素無添加で熱分解処理したりんご分解懸濁液（実機拡張モデル使用、72hr 好気攪拌分解処理）	- ろ布素材：PP30MU - 添加助剤：ラジオライト # 2000 4 % - 加圧：0.15 - 0.2MPa	ろ過速度：7 L/m ² ・hr 固形残さ剥離性：不良 ・固形残さ発生は分解懸濁液の 3.5 - 4 割と見積もられた。

ろ液回収状況と固形残さの状態を写真に示す（写真 3.2.4-2～写真 3.2.4-5）。



写真 3.2.4-2 H15 年度酵素無添加懸濁液
ろ液回収状況（約 $7\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ ）



写真 3.2.4-3 H16 年度酵素添加懸濁液
ろ液回収状況（約 $300\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ ）



写真 3.2.4-4 固形残さ付着状況



写真 3.2.4-5 固形残さ付着状況

多重管型加圧ろ過試験機を用いて実施したスケールアップ検討ろ過試験の結果を整理して記す。

- ・市販繊維質分解酵素を添加してせん断攪拌分解処理した場合、りんご搾りかす分解懸濁液のろ過速度は酵素無添加の場合（H15 年度実施）と比較して約 40 倍と飛躍的に向上した。
- ・また酵素添加処理により、課題であった固形残さの剥離性が改善され、多重管型加圧ろ過機を用いて全自動運転が可能となることが確認できた。

2) 自動運転計画と実機規模の試算

(1) 連続バッチ運転スケジュール

多重管型加圧試験機を用いて行ったスケールアップのための加圧ろ過試験の結果より、付着固形残さ（以下脱水ケーキと記す）を最大限の厚みの2 cm まで付着させて各バッチろ過処理を行う場合のろ材の単位面積当たりろ過処理量とろ過時間を求めた。

・ろ材単位面積当たりろ過処理量：55L

ろ過速度の平均値 $300 \text{ L} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ から、正味のろ過処理時間（ろ過時間）が求まる。

・ろ過時間（ θ ）：0.2hr

これを踏まえて、連続バッチ運転スケジュールを以下のように計画した（表 3.2.4-3）。

表 3.2.4-3 多重管型加圧ろ過機の連続バッチ運転計画

「連続バッチ運転スケジュール」			
充液	0.15	hr	
ろ過（ θ ）	0.2	hr	
抜液	0.15	hr	
エアブロー	0.4	hr	
ドレン抜き・排圧	0.05	hr	
脱水ケーキ排出	0.05	hr	
逆洗	0.1	hr	
計	$\theta : 0.2 \text{ hr} + 1.0 \text{ hr} = 1 \text{ 自動運転バッチ } 1.2 \text{ hr}$		

(2) 多重管加圧ろ過実機の規模試算

ろ過機の1日当たり稼働時間を6時間、12時間、24時間と想定して、1,000Lの分解懸濁液を多重管型加圧ろ過実機で処理するときの総ろ材面積と実機仕様（ろ過モジュールの塔数と高さ、ろ過塔容積）を試算した。ろ過面積算出の根拠資料を巻末の参考資料4に示す。

設定した日稼働時間に対する多重管型加圧ろ過機仕様を表 3.2.4-4 に示す。

表 3.2.4-4 総運転時間と多重管型加圧ろ過機の仕様

日稼働時間	必要ろ過面積	ろ過塔容積
6 hr	4.5 m^2	900L
12hr	2 m^2	400L
24hr	1 m^2	120L

H15年度の検討において、酵素処理を実施しなかつたりんご分解懸濁液を対象にした多重管加圧ろ過実機の仕様試算結果を表 3.2.4-5 に示す。

表 3.2.4-5 りんご搾りかす酵素無添加分解懸濁液の多重管型加圧ろ過機の仕様

日稼働時間	必要ろ過面積
6 Hr	23m ²
12Hr	11.5m ²
24Hr	6 m ²

自動運転計画の試算と実機規模の試算の結果を整理して記す。

- ・せん断攪拌分解処理の際に市販酵素を添加することで、りんご分解懸濁液の加圧ろ過速度と固形残さ剥離が大幅に改善され、自動運転における 1 バッチの所要時間を短縮でき、単位時間当たりのバッチ処理数を増加できることとなった。
- ・その結果、酵素による促進分解処理を行わない場合と比較して、加圧ろ過実機のろ過面積を 6 分の 1 に設定することが可能となり、ろ過塔本体と原液槽、ろ液槽などの規模を縮小できることが明らかとなった。

3.3 有機融雪剤の雪質・用途条件等に対する適用拡大実現の研究

3.3.1 有機融雪剤適用拡大の課題と研究内容

雪質や路面温度などの融雪剤使用条件に広く対応できるようにするため、試作した融雪液剤の固形剤化およびすべり止め材への含浸による固形剤製造方法の検討、および試作した新規形態融雪剤の性能と適用性の評価を行った。

平成 15 年度のスタディ結果から明らかとなった有機融雪剤製造プラント実用化の課題および平成 16 年度の研究内容を図 3.3.1-1 に示す。太い波線で囲んで示した部分が本章の内容に関する課題と研究内容である。

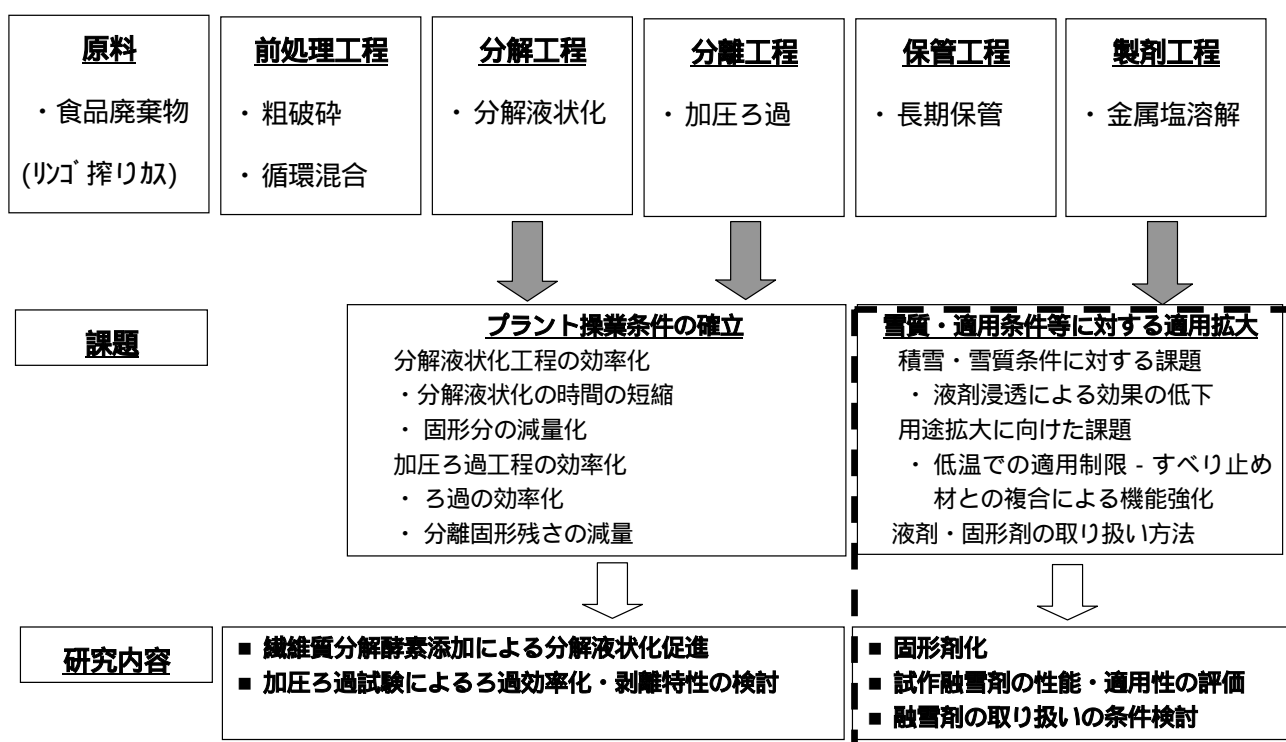


図 3.3.1-1 有機融雪剤製造プラント実用化の課題と平成 16 年度研究内容

有機融雪液剤の固形剤（粒剤）化検討と評価の内容を図 3.3.1-2 に示す。

また、有機融雪液剤を含浸した多孔性すべり止め材の試作検討と評価の内容を図 3.3.1-3 に示す。

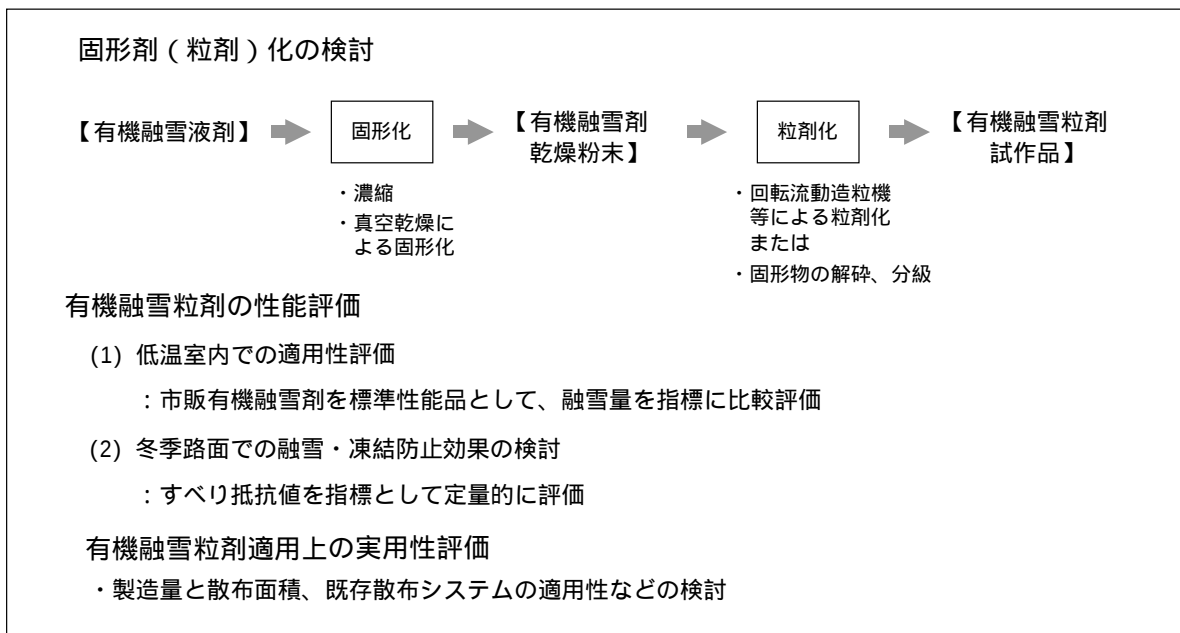


図 3.3.1-2 有機融雪剤の粒剤化検討と評価の内容

有機融雪液剤を工業的な真空乾燥方法により固形化し、乾燥により得られた粉体の造粒または固形物の解砕・分級により融雪粒剤を試作した。試作した有機融雪粒剤の性能は、簡易室内融氷試験および路上でのすべり抵抗試験により評価した。

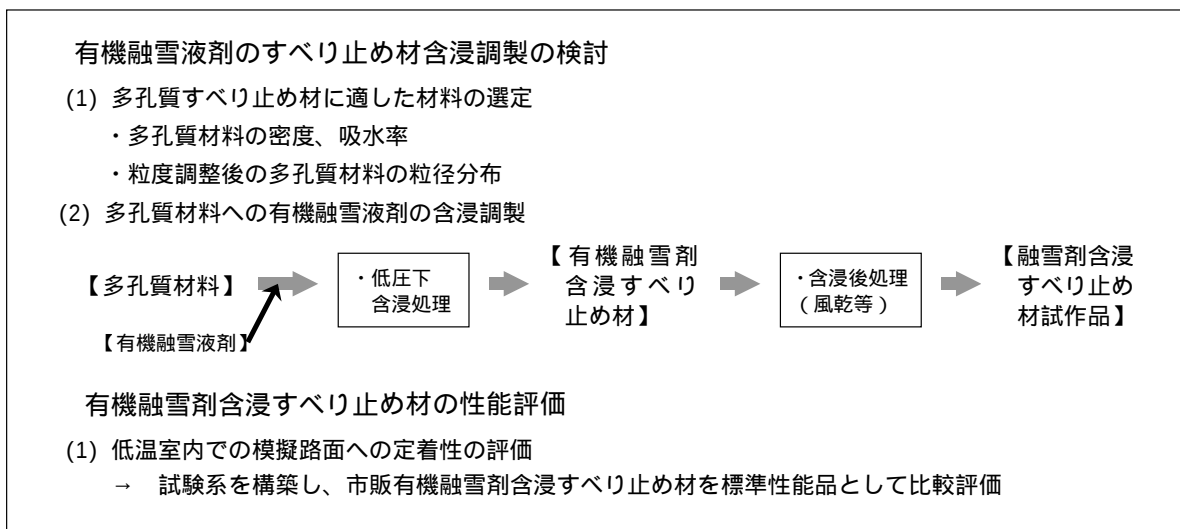


図 3.3.1-3 有機融雪剤含浸すべり止め材の試作検討と評価の内容

副産物系の多孔質材料を多孔性すべり止め材担体に用いて有機融雪剤を含浸させ、有機融雪剤含浸すべり止め材を試作した。試作した融雪剤含浸すべり止め材の適用性は、室内試験により評価した。

3.3.2 有機融雪液剤の調製と試作有機融雪液剤の性状確認

a) 有機融雪液剤の調製

1) りんご有機分解液と有機融雪液剤の性状

りんご有機分解液（以下 APS と記す）および APS を母材とする有機融雪液剤の性状分析結果を表 3.3.2-1 に示す。

有機融雪液剤は APS を母材に、酢酸ナトリウムを重量/体積％濃度で 20％添加溶解して調製した。

表 3.3.2-1 APS とそれを母材とする有機融雪液剤の性状分析結果

分析項目	分析試料	
	APS（りんご有機分解液）	APS + 20％酢酸 Na
蒸発残留物	34,000ppm	309,000ppm
有機体炭素	19,000ppm	71,000ppm
全窒素	150ppm	130ppm
全リン	57ppm	180ppm
ナトリウム	2,090ppm	37,200ppm
カリウム	540ppm	1,240ppm
カルシウム	95ppm	138ppm
マグネシウム	37ppm	72ppm
塩化物イオン	測定不能（100ppm = 0.01％前後）	左同
硫酸イオン	50 以下	50 以下
pH	4.5	6.8

性状分析結果よりわかることを整理して記す。

- ・有機体炭素は 2 万 ppm 弱と高い値を示したが、排水中に流出する富栄養塩として懸念される全窒素・全リンともに、排水においては少なくとも 1/10 以下に希釈されて排水基準（全窒素 120mg/L、全リン 16mg/L）を満足すると考えられる。
- ・塩化物イオン濃度は極めて低く測定不能であったが、さまざまな測定手段を試行した結果から 100ppm 前後であることを示唆するデータが得られた。

b)有機融雪液剤の室内融氷試験

下記の手順、条件で有機融雪液剤の融氷量測定試験を実施した。

金属トレイ（ステンレス製、底面積 250cm^2 ）に水道水を注ぎ、人工気候室内にて -5 に静置して 5mm 厚さの氷の層を形成させた。氷層が完全に形成された後約 1 時間静置した。

厚さ 1mm 分の融雪液剤（ -5 に予冷した）を氷層に注ぎ 6 時間後までの融氷量を測定した。

- ・測定は -5 に保った人工気候室内で原則無照明下で実施した。
- ・対照試料には代表的有機融雪剤である酢酸カルシウム・マグネシウムを用いた。

融氷量測定結果を図 3.3.2-1 に示す。

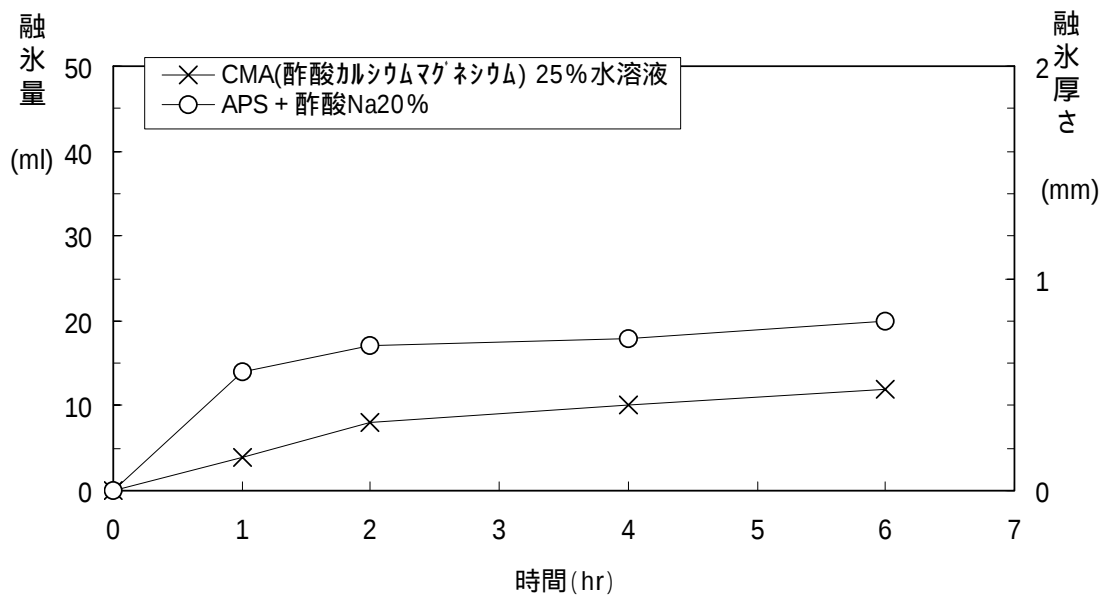


図 3.3.2-1 有機融雪液剤の融氷量測定試験結果

室内融氷試験の結果、APS を母材にした有機融雪液剤は、平成 15 年度試作融雪液剤と同様に酢酸カルシウムマグネシウム 25%水溶液の約 2 倍の融氷性能を有することを確認した。

3.3.3 有機融雪液剤の固形剤化と性能評価

a) 有機融雪液剤の粒剤化と融氷性能試験

1) 粒剤化試験

有機融雪液剤の乾燥・粒剤化方法を検討し、りんご搾りかすを原料とする有機融雪液剤の粒剤化に適した粒剤化工程の見通しをつけた。

(1) 粒剤化方法の検討

乾燥粉末化ののち回転造粒機を用いて粒剤化を図る方法（乾燥・造粒工程）と乾燥固形化で得られた塊に無機表面改質材を添加しながら解砕し、篩分けにより粒度調整を図る方法（乾燥・解砕・粒度調整工程）により粒剤化予備の試験を行った。

両工程の詳細を図3.3.3-1に、またそれぞれの予備試験の結果を図3.3.3-2に示す。

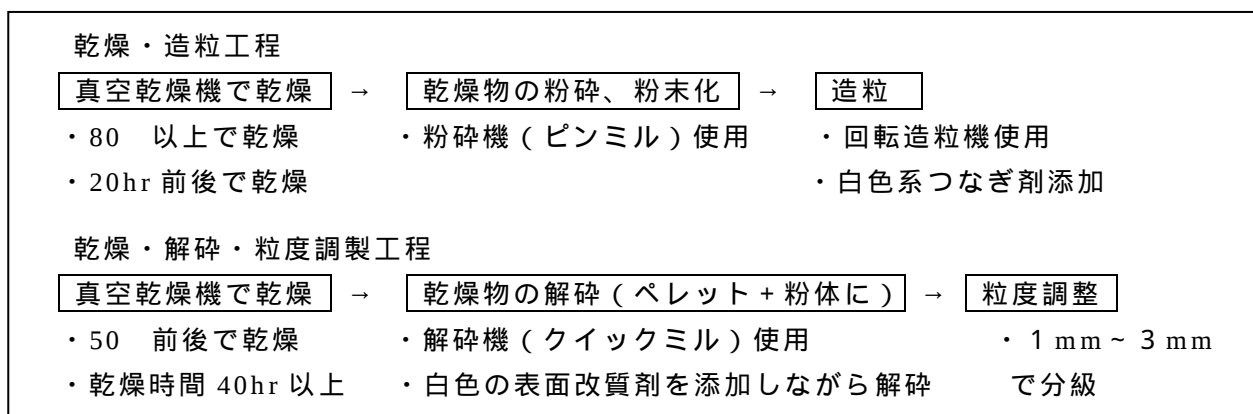


図 3.3.3-1 有機融雪液剤の粒剤化試験の工程

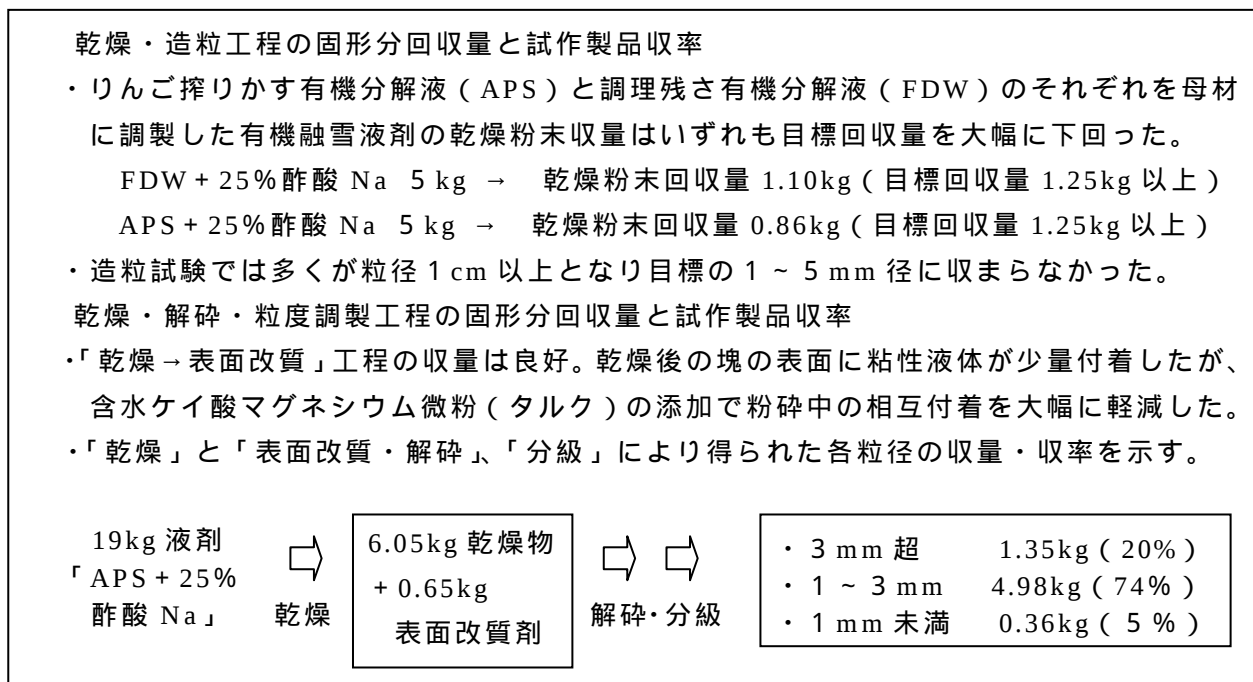


図 3.3.3-2 有機融雪液剤粒剤化予備試験の結果

予備粒剤化試験の結果、「乾燥・解砕・粒度調整工程」が粒剤製造のプロセスとして適していることが明らかとなった。この粒剤化工程で 60kg の有機融雪液剤をもとに粒剤を試作した結果を図 3.3.3-3 に示す。

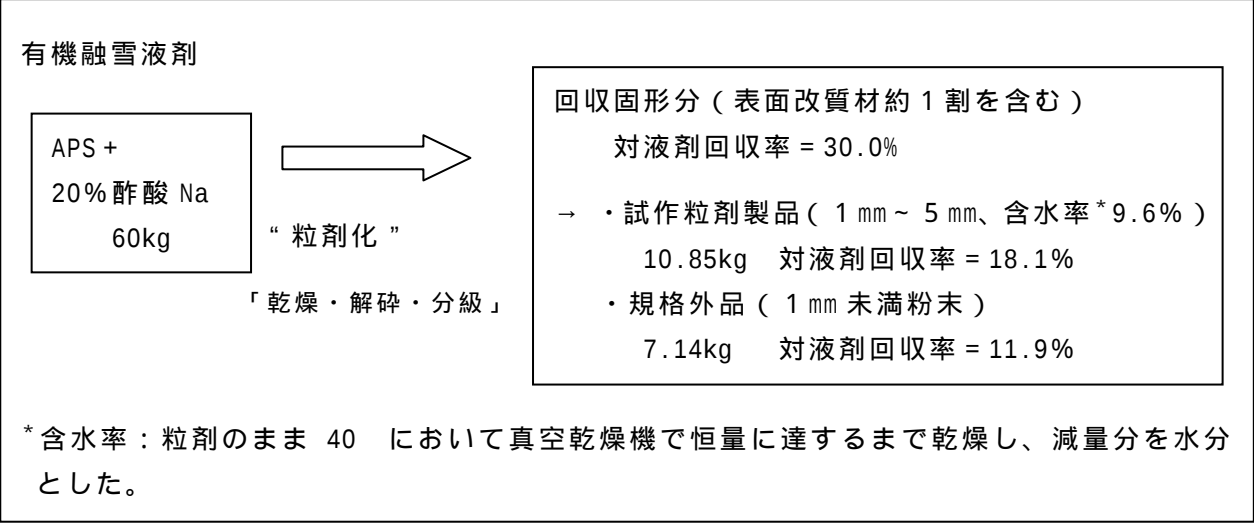


図 3.3.3-3 APS を母剤にした有機融雪液剤からの粒剤製品試作の結果

試作した APS 有機融雪粒剤を再溶解して、成分を確認した結果を表 3.3.3-1 に示す。

表 3.3.3-1 APS 有機融雪粒剤再溶解液の水質試験結果

分析項目	「APS + 20% 酢酸 Na」粒剤再溶解液
蒸発残留物	250,000ppm
有機体炭素	52,000ppm
全窒素	100ppm
全リン	140ppm
ナトリウム	28,800ppm
カリウム	990ppm
カルシウム	123ppm
マグネシウム	82ppm
塩化物イオン	測定不能（100ppm = 0.01% 前後）
硫酸イオン	50 以下
pH	7.2

2)有機融雪粒剤の室内融氷試験

有機分解液に酢酸 Na を添加して調製した融雪液剤の乾燥粒剤化により得られた「有機融雪粒剤」の融氷量測定試験の手順、条件を記し、図 3.3.3-4 に試験の結果を示す。

融雪液剤の融氷量試験と同じ手順・条件で金属トレイに 5 mm 厚さの氷の層を形成させた。

9.25g の試作粒剤および対照試料を表面積 250cm^2 の氷層上にまき、6 時間までの融氷量を測定した。粒剤の散布量は路上での散布量 $375\text{g}/\text{m}^2$ に相当する。

- ・測定は - 5 に保った人工気候室内において原則無照明下で実施した。
- ・対照試料には、食塩および酢酸カルシウム・マグネシウムを用いた。

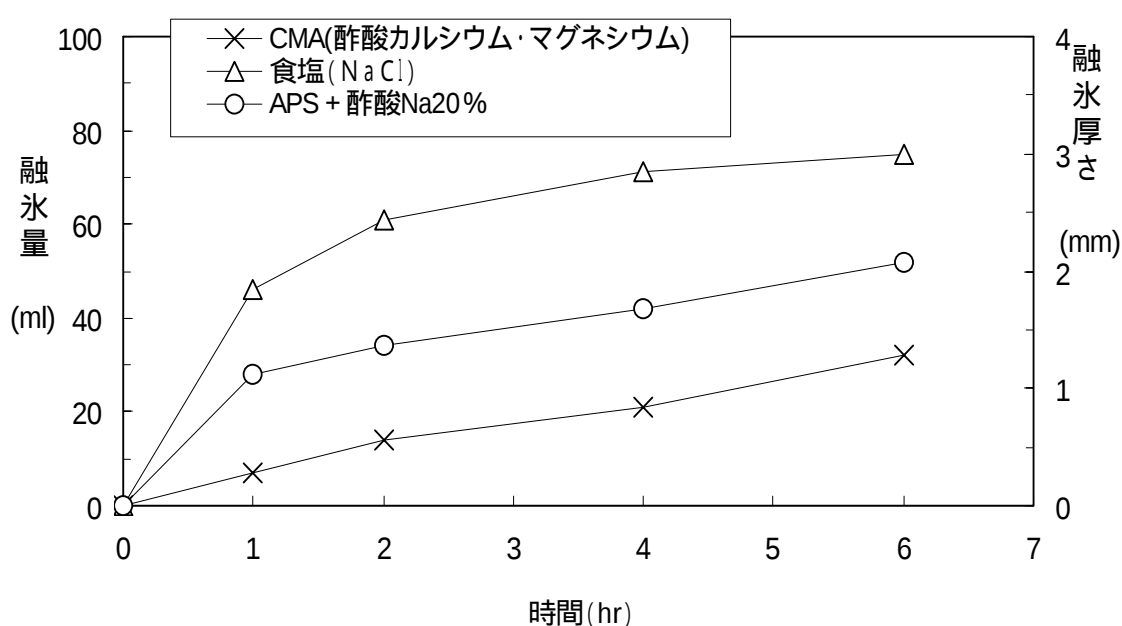


図 3.3.3-4 試作有機融雪粒剤の融氷量測定試験結果

融氷量測定試験の結果より、APS 有機融雪粒剤は塩化ナトリウム粒剤には劣るものの、酢酸カルシウム・マグネシウムの 2 倍程度の融氷性能を有することが確認できた。

b)有機融雪粒剤の室内すべり摩擦抵抗測定試験

1) 試験方法

(独)土木研究所の保有する簡易すべり摩擦抵抗測定装置(写真 3.3.3-1)を使用し、模擬路面には密粒度アスファルト舗装路面試験体(写真 3.3.3-2)を用いて、土木研究所の設定した試験方法に準じて有機融雪粒剤の事前散布効果の検証試験を実施する。



写真 3.3.3-1 すべり摩擦抵抗測定装置



写真 3.3.3-2 アスファルト舗装路面試験体

すべり摩擦抵抗測定装置を用いたすべり摩擦抵抗試験の大まかな手順を以下に記し、粒剤の事後散布による効果検証試験の条件を表 3.3.3-2 に示す。

アスファルト舗装路面試験体に事前に水を散布し、2 時間に静置する。

2 にて初期値の測定を終えたのち、有機融雪粒剤を散布する。

荷重をかけたスタッドレスタイヤブロック片を一定速度で機械的に引っ張り、ロードセルを用いてすべり摩擦抵抗値を測定する。

温度は粒剤散布後 1 時間半後に - 5 に、さらに 5 時間半後に - 10 に下げる。

散布後の測定は、散布 2 時間後から 8 時間後まで 1 時間ごとに行う。

測定データをノートパソコンに取り込み、記録・解析する。

試験に用いる有機融雪粒剤試料は、含水率 20% の Lot 1 と含水率 9.6% の Lot 2 の 2 種類とした。含水率の高めの Lot 1 粒剤試料は、19kg の融雪液剤を原料に粒剤化予備試験で得られた製剤であり、含水率の低めの Lot 2 粒剤試料は、60kg の融雪液剤を原料に粒剤試作本試験で得られたものである。

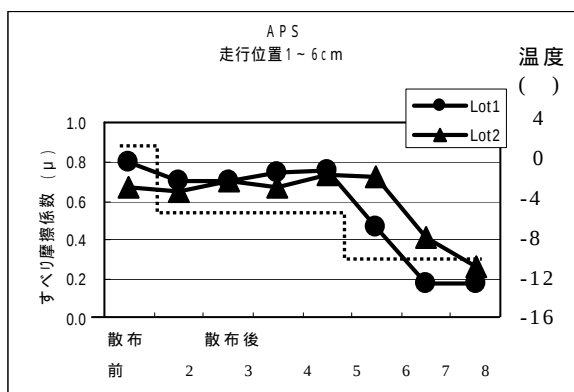
表 3.3.3-2 事前散布による粒剤のすべり摩擦抵抗測定試験の条件

項 目	条 件
試験体数	2 試験体
散布する水の量	水膜厚 2 mm 相当
融雪粒剤散布量	150g/m ²
試験温度	2 ～ - 5 ～ - 10
引っ張り速度	3 cm/秒
荷重	10kg
測定時間	散布後 2、3、4、5、6、7、8 時間
測定回数	各条件 2 ～ 3 回

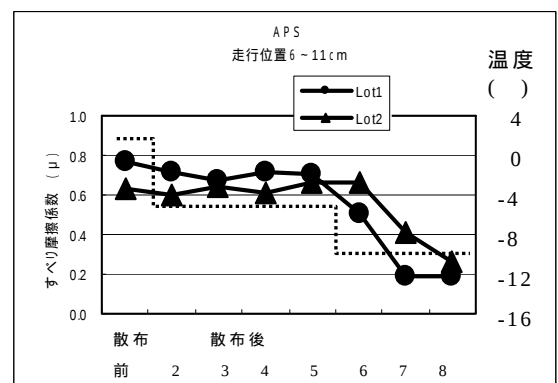
2) 試験結果

すべり摩擦抵抗測定試験の結果を図 3.3.3-5 に示す。

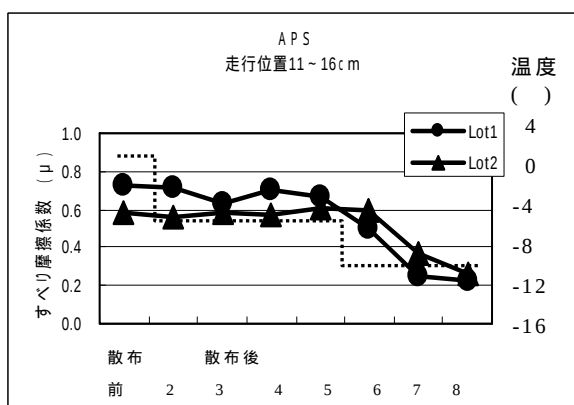
今回試作した粒剤のすべり抵抗測定試験の結果は、土研で実施したデータと比べると、塩化ナトリウム以外の有機系融雪剤（凍結防止剤）よりも凍結（摩擦抵抗の低下）を抑制する性能に優れると考えられる。



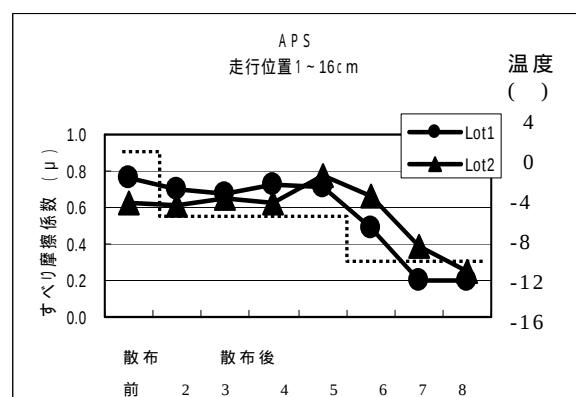
走行位置 1 ~ 6 cm の平均値



走行位置 6 ~ 11 cm の平均値



走行位置 11 ~ 16 cm の平均値



走行位置 1 ~ 16 cm の平均値

図 3.3.3-5 事前散布試験結果

c) 路上すべり抵抗試験

1) 目的

りんご搾りかすを原料に製造した有機融雪剤の融雪性能を評価するために、路上でのすべり抵抗試験を行った。

2) 試験概要

日程：1月25日（火） 路面条件：圧雪

1月27日（木） 路面条件：薄氷（ブラックアイス）

場所：北海道開発土木研究所苫小牧寒地試験道路（試験区間総延長約 350m × 2 箇所）

3) 試験方法

路面条件：2 ケース 薄氷（ブラックアイス） + 圧雪

薬剤：2 種類（液剤、粒剤）+ 標準薬剤 2 種類（NaCl、CMA）

有機融雪剤はりんご搾りかすより調製した含水率 9.6% のものを用いた。

散布方法：液剤 人がジョウロを使って、均等に散布した。

粒剤 人が手で均等に散布した。

試験区画：6 区画（幅 1m、長さ 50m）

無散布 1 区画

試験薬剤 3 区画（液剤 200ml/m²、粒剤 50g/m²、30g/m²）

標準薬剤 2 区画（NaCl 30g/m²、CMA 30g/m²）

測定項目：すべり抵抗値

温度（気温、路面温度、雪温度）1 時間毎に無散布区間付近にて測定

湿度 1 回

天候 1 回

測定方法：すべり抵抗測定車（40km/h）によるすべり抵抗値の測定

各測定において、2 回以上測定を行った。

散布直前の測定

散布直後の測定

散布後 40 分経過後の測定

ダミー車 50 台後、100 台後、150 台後、200 台後の測定

が終了してから 40 分経過後の測定

評価方法：すべり抵抗値の変化（経時、もしくは車の通過台数）により評価した。測定車のすべり抵抗値の平均的な値を当該区間のすべり抵抗値とした。

路上すべり試験の概要と区画割りを図 3.3.3-6 と図 3.3.3-7 に示す。

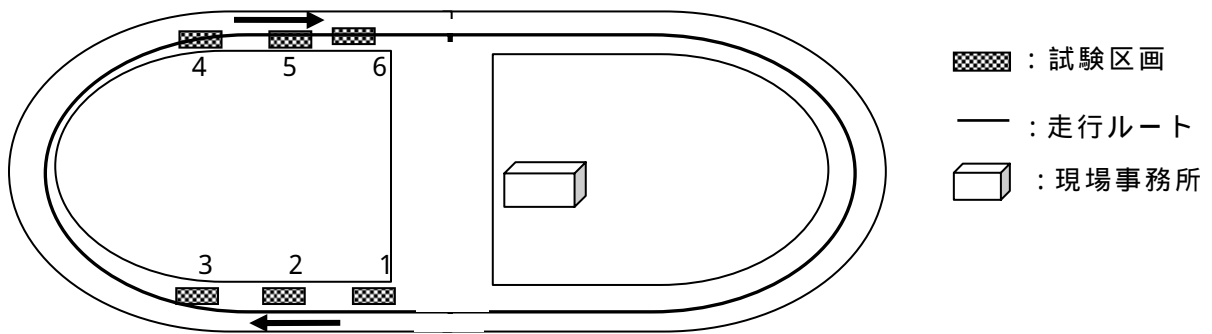


図 3.3.3-6 路上すべり試験概要

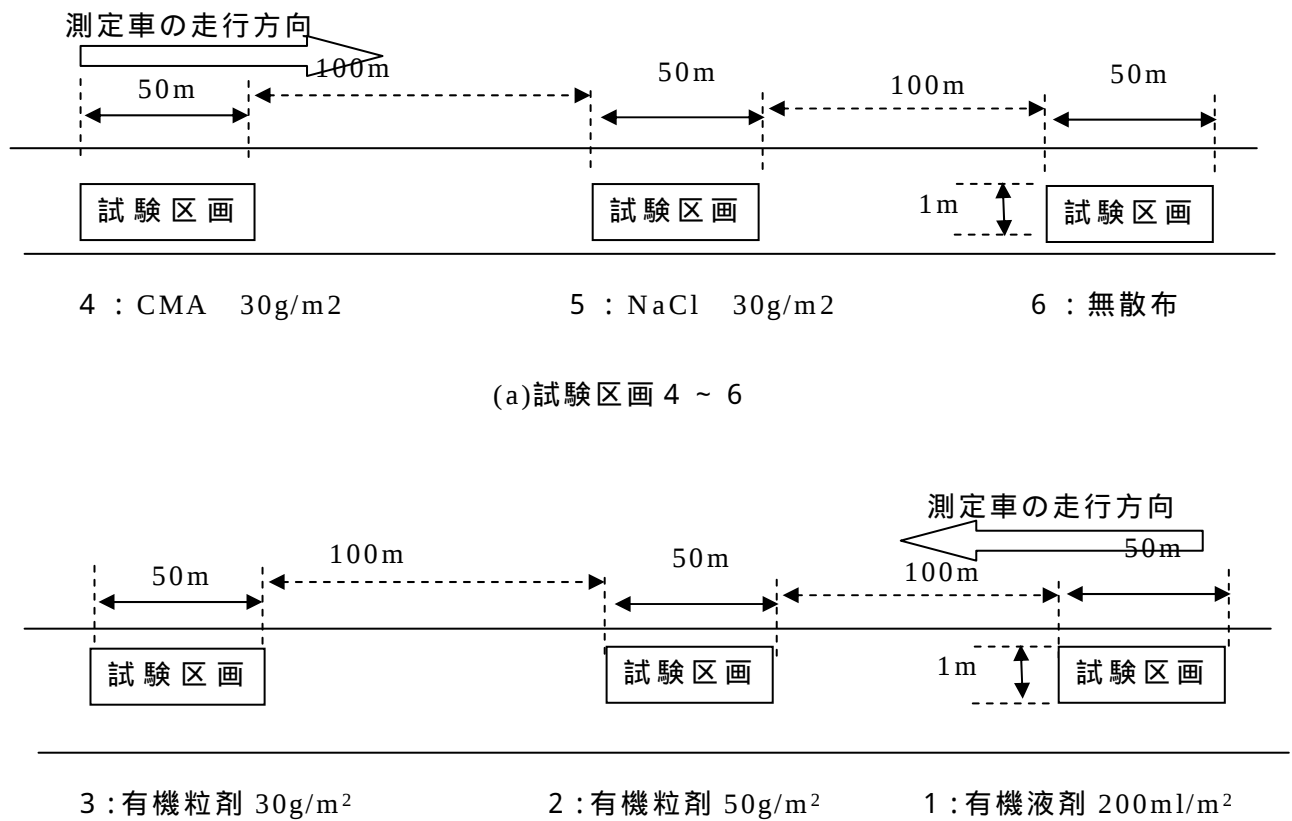


図 3.3.3-7 試験区画割り

4) 試験状況

試験路面の状況や測定状況などを写真 3.3.3-3～写真 3.3.3-6 に示す。



写真 3.3.3-3 試験道路の状況



写真 3.3.3-4 試験路面の状況（薄氷）



写真 3.3.3-5 試験道路の状況（圧雪）



写真 3.3.3-6 すべり抵抗測定状況（測定タイヤ）

5)試験結果

(1) 薄氷

気象条件：晴れ、気温 - 6.7 、湿度 73.2% (18:00 現在)

測定値：表 3.3.3-3、および図 3.3.3-8 に示す。

表 3.3.3-3 すべり抵抗値 (薄氷)

		薬剤					
		有機液剤	有機粒材 50g	有機粒材 30g	CMA	NaCl	無散布
測定時刻	直前	0.147	0.139	0.161	0.193	0.162	0.138
	直後	0.166	0.206	0.174	0.241	0.374	0.131
	1hr後	0.161	0.359	0.226	0.319	0.579	0.129
	測定1(50台)	0.163	0.406	0.225	0.296	0.620	0.135
	測定2(100台)	0.142	0.359	0.215	0.278	0.582	0.138
	測定3(150台)	0.160	0.341	0.187	0.275	0.539	0.148
	測定4(200台)	0.137	0.317	0.180	0.272	0.531	0.134
	ダミー後	0.154	0.363	0.195	0.297	0.618	0.148

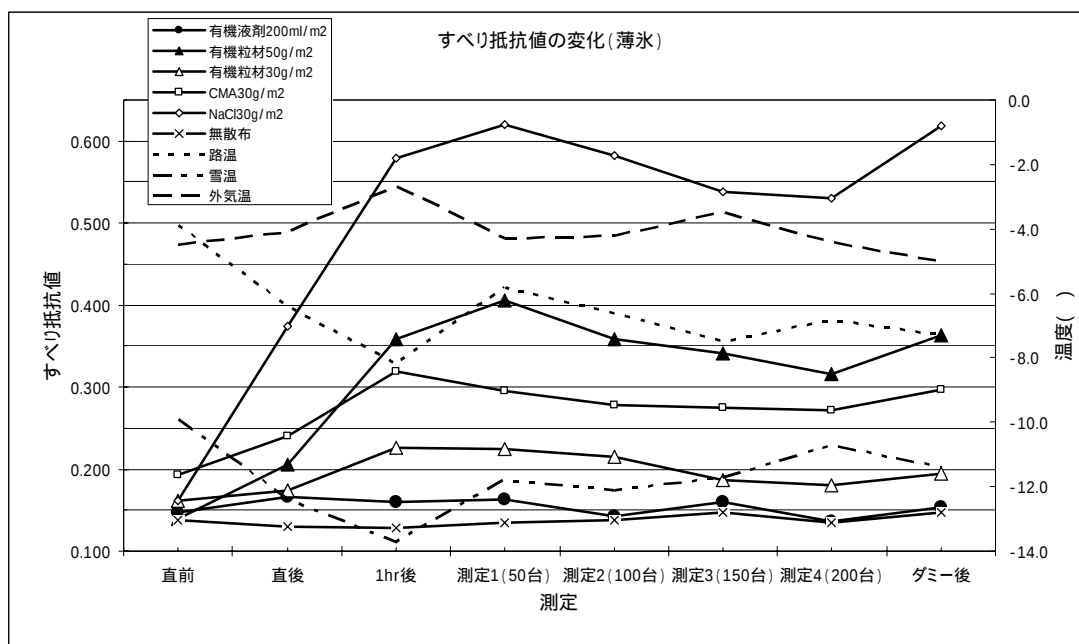


図 3.3.3-8 すべり抵抗値の変化 (薄氷)

薄氷路面のすべり抵抗測定結果よりわかったことを記す。

- ・ 有機融雪粒剤にはすべり抵抗の改善もしくは低下を抑制する効果が認められ、単位当たり散布量によっては CMA とほぼ同等の効果を示すことが確かめられた。効果は、散布量が多いほど高かった。
- ・ 薄氷の場合、一定以上の融氷効果がある場合には短時間に舗装路面が露出するため、その影響により摩擦抵抗が急激に大きくなる場合があり、そのような現象が試験結果に反映していると考えられる。
- ・ 有機融雪液剤では、すべり抵抗の低下抑制効果がほとんど認められなかった。これは散布液剤が路面の傾斜により流出したことによる影響が大きいと考えられる。

(2) 圧雪

気象条件：晴れ、気温 - 9.4 、湿度 66.1% (18:00 現在)

測定値：表 3.3.3-4 および図 3.3.3-9 に示す。

表 3.3.3-4 すべり抵抗値 (圧雪)

		薬剤					
		有機液剤	有機粒材 50g	有機粒材 30g	CMA	NaCl	無散布
測定	直前	0.181	0.224	0.163	0.392	0.408	0.409
	直後	0.386	0.308	0.292	0.334	0.391	0.341
	1hr後	0.391	0.362	0.273	0.284	0.332	0.260
	測定1(50台)	0.392	0.384	0.286	0.296	0.261	0.167
	測定2(100台)	0.358	0.385	0.285	0.207	0.203	0.141
	測定3(150台)	0.382	0.351	0.255	0.291	0.263	0.192
	測定4(200台)	0.345	0.283	0.250	0.208	0.247	0.171
	ダミー後	0.333	0.207	0.227	0.205	0.136	0.121

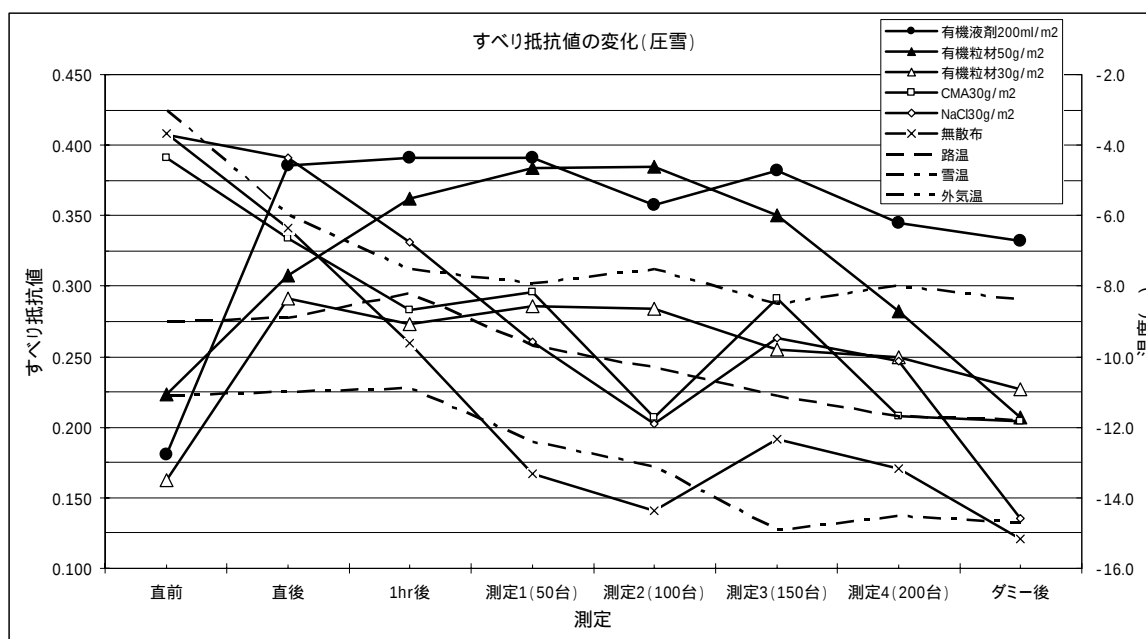


図 3.3.3-9 すべり抵抗値の変化 (圧雪)

圧雪路面でのすべり抵抗測定結果からわかったことを以下に記す。

- ・ 有機融雪液剤は高いすべり抵抗改善効果を示し、持続性にも優れた。有機融雪液剤散布でみられる圧雪表面の粘着性向上が効果発現に寄与している可能性がある。
- ・ 有機融雪粒剤でも、散布量 $50\text{g}/\text{m}^2$ と $30\text{g}/\text{m}^2$ のいずれも、散布直後から効果があらわれることが確認され、その効果が一定期間持続することも確かめられた。
- ・ 標準薬剤散布区画 (区間 4 (NaCl) 区間 5 (CMA)) と無散布区間はいずれも、散布前のすべり抵抗値が非常に高い。その後測定が進むにつれ路面自体が急激にすべりやすく変化している。これは、散布前の路面状態が有機融雪剤散布区間と著しく異なることが原因と考えられる。また、散布後は薬剤の効果の発現よりもダミー車の通過による転圧の影響の方が大きかったからであると考え

られる。したがって、今回の試験において、標準薬剤と試作有機薬剤との比較を論ずるのは難しい。

今回試験では、結果的に、試験区画 1 ～ 3（試作有機剤試験区）と区画 4 ～ 6（標準薬剤および無散布試験区）で散布前の圧雪路面のすべりやすさに大きな差があったため、標準薬剤と試作有機融雪剤の比較は難しい結果となったが、ダミー後のすべり摩擦係数は、いずれも無散布区間より大きく、程度の差はあるにせよ、散布効果は確認できたものと考えられる。

3.3.4 有機融雪液剤含浸すべり止め材調製と適用性評価

a) 有機融雪液剤含浸すべり止め材の調製

副産物系の多孔質材料を多孔性すべり止め材担体に用いて有機融雪液剤を含浸させ、有機融雪液剤含浸すべり止め材を調製する方法について検討した。

1) 多孔質すべり止め材に適した材料の選定

(1) 試験方法

多孔質材料として写真 3.3.4-1 に示す天然ゼオライト、クリンカアッシュ(2 種類) を選定し、密度と吸水率を測定した。測定は、JIS A 1109 に準じて実施した。



天然ゼオライト



クリンカアッシュ A



クリンカアッシュ B

写真 3.3.4-1 選定した多孔質材料

(2) 密度・吸水率測定試験結果

多孔質材料の密度・吸水率を表 3.3.4-1 に示す。

表 3.3.4-1 多孔質材料の密度と吸水率

試料名	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
天然ゼオライト	2.18	6.70
クリンカアッシュ A	1.87	2.86
クリンカアッシュ B	2.26	3.92

2) 多孔質材料への有機融雪剤の含浸調製

(1) 試験方法

多孔質材料 100g をデシケーター中で真空にし、約 24 時間真空状態を継続し多孔質材料を脱気した後、デシケーター上部のコックを開き有機融雪液剤 100g を材料の入っているビーカーへと移して含浸させた。約 24 時間この状態を維持した後、常圧に戻し、多孔質材料のみを取り出し重量を測定した。試料重量の増加から含浸率を算出した。真空含浸容器、含浸調製の状況を写真 3.3.4-2 に示す。



(a)真空含浸容



(b)含浸状況

写真 3.3.4-2 真空含浸容器と含浸状況

(2) 有機融雪液剤含浸試験結果

含浸前後の多孔質材料の重量と含浸率を表 3.3.4-2 に示す。

表 3.3.4-2 多孔質材料の重量と含浸率

試料名	含浸前重量 (g)	含浸後重量 (g)	含浸率 (%)
天然ゼオライト	100.0	109.9	9.9
クリンカアッシュ A	100.0	132.7	32.7
クリンカアッシュ B	100.0	143.2	43.2

多孔質材料への有機融雪液剤の含浸量によると、天然ゼオライトよりもクリンカアッシュの方が 3～4 倍程度多いため、融雪性能としては高いと考えられる。

b) 有機融雪液剤含浸すべり止め材の適用性評価

融雪液剤含浸すべり止め材の氷板への付着性能を確認するため、予備試験として、小型金属トレイに高密度に試作した含浸すべり止め材をまき、一定時間後すべり止め材が容器に回収される率から「付着率」を、また一定時間後回収された溶解液の量から「融氷量」を求める試験を行った。

予備試験の結果を踏まえて、大型の金属トレイに形成させた氷板への付着性の定量的評価を試みた。

1) 定着性予備試験・融氷試験

融雪剤を含浸することによって、多孔性すべり止め材のアイスバーン路面への定着性が向上可能かを判断するため、すべり止め材を金属トレイに形成させた氷板上に散布し、一定時間後にトレイを傾けて、回収されるすべり止め材の重量を測定する「すべり止め材回収量測定」および「融氷量測定」を行った。

試験は下記の手順、条件で実施した。

金属トレイ（ステンレス製、底面積 250cm^2 ）に水道水を注ぎ、人工気候室内で -5 に静置して 5mm 厚さの氷の層を形成させた。氷層が完全に形成された後、約 1 時間静置した。

各トレイの氷層の上に 18.75g ($750\text{g}/\text{m}^2$) の有機融雪剤含浸すべり止め材を散布し、 1 時間後、 2 時間後、 4 時間後のすべり止め材回収量および融氷量を測定した。

- ・ 1 時間、 2 時間、 4 時間後測定には、それぞれ別々のトレイを用意し測定を行った。
- ・ 測定は -5 に保った人工気候室内で原則無照明下で実施した。

試験の結果を表 3.3.4-3、図 3.3.4-1 および表 3.3.4-4 に示す。また、 4 時間後のすべり止め材散布氷板の状況を写真 3.3.4-3～3.3.4-6 に示す。

表 3.3.4-3 融雪剤含浸すべり止め材の回収量

すべり止め材試料	回収量 (g) / 回収 (%)		
	1 時間後	2 時間後	4 時間後
市販融雪剤含浸すべり止め材	16.8 / 90	16.1 / 86	18.2 / 97
天然ゼオライト	1.61 / 8.6	1.62 / 8.6	1.47 / 5.3
クリンカアッシュ A	0 / 0	0 / 0	0 / 0
クリンカアッシュ B	0 / 0	0 / 0	0 / 0

市販融雪剤含浸すべり止め材：ゼオライトに酢酸カリウム + グリセリンを含む融雪液剤を含浸した製品

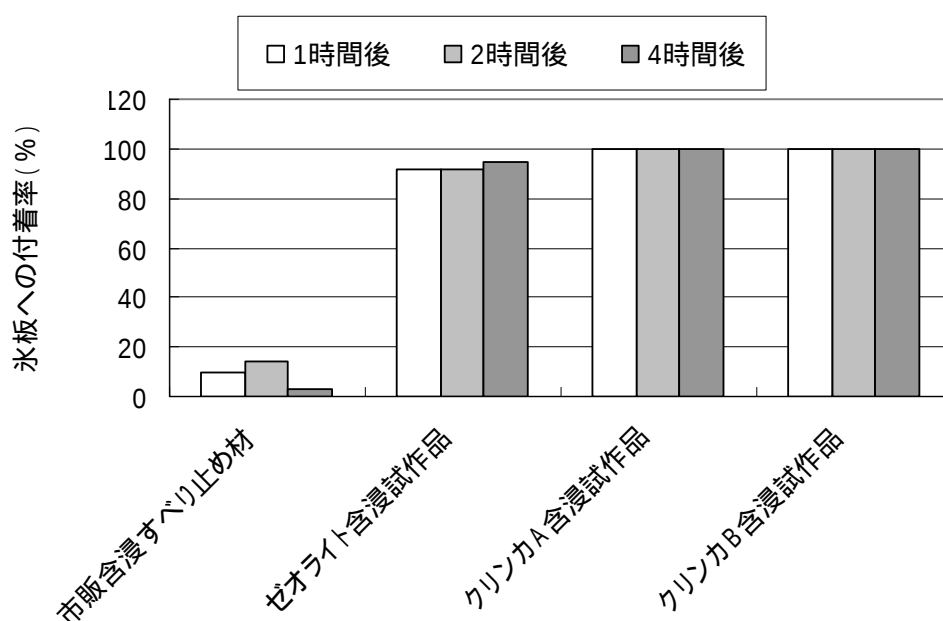


図 3.3.4-1 融雪液剤含浸すべり止め材の氷板への付着率

表 3.3.4-4 融雪液剤含浸すべり止め材による融氷試験結果

すべり止め材試料	融氷量 (ml)		
	1 時間後	2 時間後	4 時間後
市販融雪剤含浸すべり止め材	0	0	0
天然ゼオライト	0	0	0
クリンカアッシュ A	4	5	5
クリンカアッシュ B	2	6	9

今回試作したクリンカアッシュの有機融雪液剤含浸すべり止め材は、氷板表面を融かすことで氷板への付着性（定着性）を確保しているのであろうことが明らかとなった。クリンカアッシュを多孔性すべり止め材に用いた試作品では、融雪液剤の含浸量が多いため、アイスバーン表面への付着性が高いことがわかった。



写真 3.3.4-3 市販有機融雪
液剤含浸すべり止め材 4 hr 後



写真 3.3.4-4 天然ゼオライト
含浸すべり止め材試作品 4 hr 後



写真 3.3.4-5 クリンカアッシュ A
含浸すべり止め材 4 hr 後



写真 3.3.4-6 クリンカアッシュ B
含浸すべり止め材 4 hr 後

2) 付着性評価試験

(1) 試験方法

有機融雪液剤を含浸させたすべり止め材の付着性を評価するために写真 3.3.4-7 に示す試験装置を作製し、すべり止め材の氷板への付着性の評価を行った。試験条件を表 3.3.4-5 に示す。



(a)試験装置全景

(b)試料散布用氷板

写真 3.3.4-7 付着性評価試験装置

表 3.3.4-5 付着性評価試験の試験条件

項 目	条 件
試験体数	3 試験体 (ゼオライト、クリンカ A、クリンカ B)
すべり止め材散布量	11g (150g/m ² 相当)
試験温度	- 5
傾斜角度	50 °
測定時間	散布後 4 時間
評価方法	落下試料の重量 (g)

(2) 付着性評価試験結果

付着性評価試験の結果を表 3.3.4-6 に示す。

表 3.3.4-6 付着性評価試験結果

試 料	落下量 (g)	落下率 (%)
ゼオライト	2.85	25.9
クリンカ A	0.35	3.2
クリンカ B	0.36	3.3

クリンカはゼオライトと比較すると落下量が少なく、付着性が高いと考えられる。これは、有機融雪液剤の含浸量がクリンカの方が多いため、氷面を融解させ、付着性が向上したものと考えられる。試験の状況を写真 3.3.3-8 に示す。



(a) 散布直後



(b) 散布 4 時間経過後



(c) 散布直後



(d) 散布 4 時間経過後

写真 3.3.4-8 試験状況（上段：ゼオライト、下段：クリンカ A）

3.3.5 融雪剤の取り扱い方法に関する検討

有機融雪粒剤の保管条件で、しばしば市販の融雪剤（凍結防止剤）で問題となる「保管中の粒剤の相互固結」および「保管中の吸湿」の２点につき、試作有機融雪粒剤を対象に簡単な検証試験を行い、対策について検討した。有機融雪液剤については、半年から１年程度であれば、15℃以下の冷暗所に保管すれば、保管期間中の劣化はほとんど認められないことがわかっているので、今回は保管条件等の検討は実施しなかった。

また、有機融雪剤製造施設での年間製造量を試算し、特定の地域での散布量との比較を実施するとともに、既存の散布システムの適用性についても検討した。

a) 有機融雪粒剤の固結性

固形粒剤形態の融雪剤（凍結防止剤）の保管の課題として、保管中の固結防止があげられる。塩化物系・有機物系いずれの融雪粒剤でも保管時の吸湿は避けなければならないが、塩化ナトリウムの粒剤では、0℃以下の低温に保管すると、粒剤に少量含まれる水分の影響により結晶化が進行して、粒剤どうしが速やかに固結することが報告されている。その研究報告の要点を表 3.3.5-1 に示す。

表 3.3.5-1 に示すのは、含水率を所定の値に調製した粒剤を用意し、１週間の間それぞれの条件で放置した場合の固結試験の結果である。

表 3.3.5-1 塩化ナトリウムの固結試験の結果

温度	載荷重	含水率			
		0 %	0.50 %	1.00 %	1.50 %
0	なし	固結度 0	固結度 0	固結度 0	固結度 0
	0.4kg/cm ²	固結度 1	固結度 1	固結度 1	固結度 1
- 5	なし	固結度 0	固結度 1	固結度 2	固結度 2
	0.4kg/cm ²	固結度 0	固結度 1	固結度 2	固結度 2
- 10	なし	固結度 0	固結度 1	固結度 2	固結度 3
	0.4kg/cm ²	固結度 0	固結度 1	固結度 2	固結度 3
- 20	なし	固結度 0	固結度 1	固結度 2	固結度 3
	0.4kg/cm ²	固結度 0	固結度 1	固結度 2	固結度 3

固結度 0：まったく固結していない状態

固結度 1：手で容易に崩すことのできる弱い固結

固結度 2：手で崩すことのできる固結

固結度 3：手で握りつぶすことの不可能な固結

出典：（独）北海道開発土木研究所

上記試験の結果からわかることを整理して記す。

塩化ナトリウム粒剤が 0.5%以上の水分を含む場合、0℃以下で速やかに固結が起きる。そして、含水率が高いほど固結の進行が早い。

- 5℃以下では載荷の有無による固結度の違いは認められない。0℃においては、載荷しないと固結は起きないが、載荷すると緩やかながら固結が進行する。

市販の有機系粒剤でも同様の固結が認められることから、今回試作した APS 有機融雪粒剤でも同様に低温での固結試験を実施した。固結試験の条件を表 3.3.5-2 に、固結試験の結果を表 3.3.5-3 に、また固結試験の状況を写真 3.3.5-1～写真 3.3.5-4 に示す。

表 3.3.5-2 有機融雪粒剤の低温での固形性試験の条件

試料：APS 有機融雪粒剤、粒径 1 mm～5 mm、含水率 9.6 %
 容器：12cm×15cm の大きさの厚手ポリエチレン製チャック付き袋を使用。
 粒剤試料 250g をポリ袋に充填して試験に供した。

保管条件

ケース 1：0 載荷なし
 ケース 2：- 5 載荷なし
 ケース 3：- 20 載荷なし
 ケース 4：- 20 載荷あり

・固結の程度の確認は試験開始後 1 週間後と 2 週間後に行った。

表 3.3.5-3 有機融雪粒剤の固結試験の結果

試験ケース			固結度		備考
	温度	載荷	1 週間後	2 週間後	
ケース 1	0	-	固結度 0	固結度 0	
ケース 2	- 5	-	固結度 0	固結度 0	
ケース 3	- 20	-	固結度 0	固結度 0	若干粒剤が固めであったが室温に戻すと変化なかった
ケース 4	- 20	+	固結度 0	固結度 0	同上

固結度 0：まったく固結していない状態

固結度 1：手で容易に崩すことのできる弱い固結

固結度 2：手で崩すことのできる固結

固結度 3：手で握りつぶすことの不可能な固結

試験の結果から、今回試作した有機融雪粒剤では、低温に保管しても薬剤主成分の結晶化は起きにくいことが明らかとなった。これは、液剤の粒剤化工程で鉱物性の表面改質材（タルク＝含水ケイ酸マグネシウム微粉）を加えたため、有機融雪粒剤表面が空気層を抱いた粉体でまぶされた状態となり剤の主成分である有機酸塩の結晶化を妨げることにつながったと解釈される。

しかしながら、今回の試験は少量のサンプルを用いて、0.04kg/cm²程度と低めの荷重をかけて、短期間固結の有無を検討したに過ぎない。実際の保管はフレキシブルコンテナ袋に詰め、倉庫内で数段に積層保管することになるため（写真 3.3.5-5 参照）、固結に加え粒剤の圧力による微粒化なども検討する必要があると考えられる。

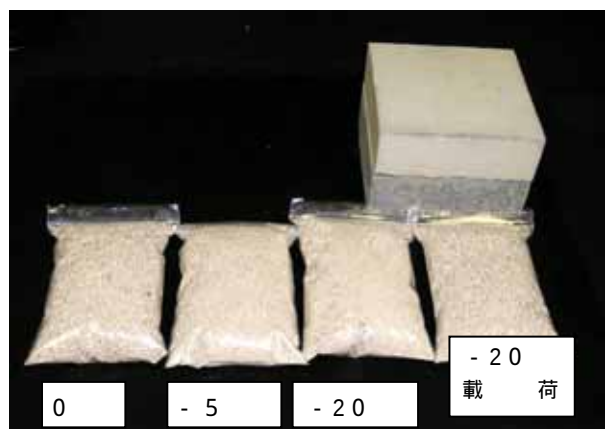


写真 3.3.5-1 固結試験試料と載荷ブロック

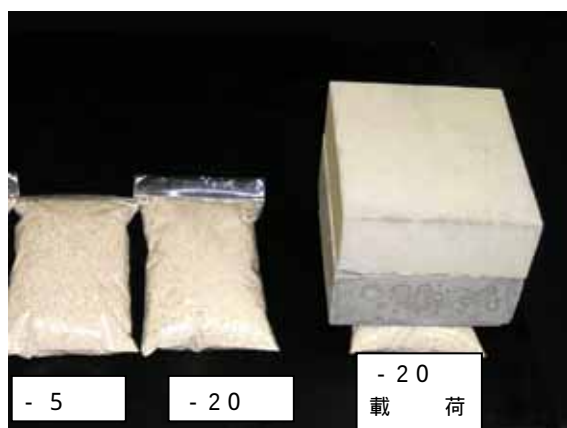


写真 3.3.5-2 載荷の状況



写真 3.3.5-3 試験開始 1 週間後



写真 3.3.5-4 試験開始 2 週間後



写真 3.3.5-5 フレキシブルコンテナバッグでの
融雪粒剤（凍結防止剤）保管状況

b)有機融雪粒剤の吸湿性

有機融雪粒剤の保管条件として、保管庫内での湿度条件の管理の必要性について簡単に検討した。

1) 試験方法

表 3.3.5-4 に示す条件で、試作有機融雪粒剤の重量変化を確認した。

表 3.3.5-4 有機融雪粒剤吸湿性試験の条件

・ 試料	有機融雪粒剤（APS + 酢酸 Na を固形剤化したもの）	100g
・ 保管条件 1	チャック付ポリエチレン製袋に密閉保管	
・ 保管条件 2	ホーローバットにそのまま保管	
・ 下部に水を張り、20℃ に保ち、相対湿度 90%としたデシケータ内に 1 週間 上記保管条件で粒剤試料を保管し、試験開始前と終了時の試料重量を測定 比較した。		

2) 吸湿試験結果

粒剤吸湿試験の結果を表 3.3.5-5 に、試験状況を写真 3.3.5-6～3.3.5-8 に示す。

表 3.3.5-5 粒剤吸湿試験の結果

保管条件	試料重量	
	試験前（g）	終了時（g）
保管条件 1 ポリエチレン製袋に密封保管	100.0	100.13
保管条件 2 ホーローバット上にそのまま	100.0	128.9



写真 3.3.5-6 試験前状況



写真 3.3.5-7 試験中



写真 3.3.5-8 試験後状況

吸湿試験の結果から明らかとなった粒剤の長期保管時に留意すべき点を以下に記す。

- ・ 有機融雪粒剤を 20～25kg ずつ小分け保管する場合は、ポリ袋等への密封保管が必要である。逆に吸湿対策としては、ポリ袋内密封で十分であると考えられる。
- ・ フレキシブルコンテナ袋などで保管する場合は、夏期等の湿度条件が過酷な時期の保管には、保管庫内の湿度管理に十分留意する必要がある。

c)有機融雪剤の散布について

1) 融雪剤（凍結防止剤）使用量と有機廃棄物を原料とする有機融雪剤の製造量

ある地域での融雪剤使用量を、融雪剤（凍結防止剤）の年間使用実績等をもとに概算し、融雪剤全使用量の5～10%を有機系融雪剤と見積もった。それらを踏まえ、地域を北海道と青森県に限定して、有機融雪剤製造施設における年間製造量などを試算した。

特定の地域での融雪剤使用量と年間製造量および有機融雪剤製造施設数の試算結果を表3.3.5-6に示す。また、有機融雪剤製造施設最小単位等の算定根拠を図3.3.5-1に、北海道開発局での凍結防止剤の年間使用量の推移を図3.3.5-2に示す。

表 3.3.5-6 特定の地域における融雪剤使用量と有機融雪剤年間製造量の試算

・特定地域での融雪剤使用量

北海道の融雪剤年間使用実績約 5.7 万 t（平成 15 年度）、うち有機系融雪剤の使用量推定値 3000～6000t（年間使用実績の 5～10%）

・北海道の国道と道道の総延長約 6000km、道人口約 570 万人

青森県の融雪剤年間使用量概算 1.5 万 t、うち有機系の使用量推定値 750～1500t（年間使用量の 5～10%）

・青森県の人口約 150 万人

* いずれも融雪剤使用量は粒剤（固形薬剤）での重量である。

・北海道、青森県での有機融雪剤年間製造量と有機融雪剤製造施設数の試算

北海道での有機融雪剤年間製造量：3000～6000t

・有機融雪剤製造施設数：年 800t 製造施設 4～8 施設

青森県での有機融雪剤年間製造量：750～1500t

・有機融雪剤製造施設数：年 400t 製造施設 2 施設または年 800t 製造施設 1 施設（年間製造量 750t の場合）

年 800t 製造施設 2 施設（年間製造量 1500t の場合）

・りんご搾りかすの年間発生量 1.5 万～2.3 万 t を全量有機融雪剤に転換すると、融雪液剤 1.65 万～2.5 万 t に、融雪粒剤では 4000～6000t に相当する。

「有機融雪剤製造施設最小単位と製造量」

- ・有機廃棄物原料受入れ
：日 5000L (約 5 t)
- ・有機廃棄物原料：果汁製造残さ、
農産廃棄物等
- ・施設稼働日数：年 300 日
- ・有機融雪剤日製造量：1.375t
- ・**有機融雪剤年製造量：400t 強**
- ・右記融雪剤製造プラントを 2 ユニ
ット併設し施設規模を倍とすると、
有機融雪剤年製造量は 800t 強
と見積もられる。

< 融雪剤製造施設最小単位での日製造量 >

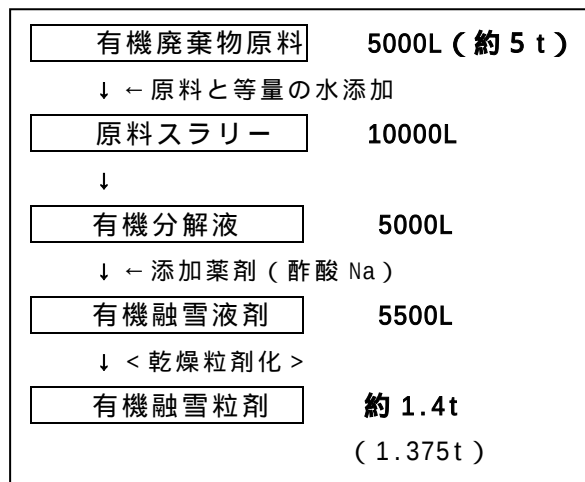


図 3.3.5-1 有機融雪剤製造最小単位と製造量の算定根拠

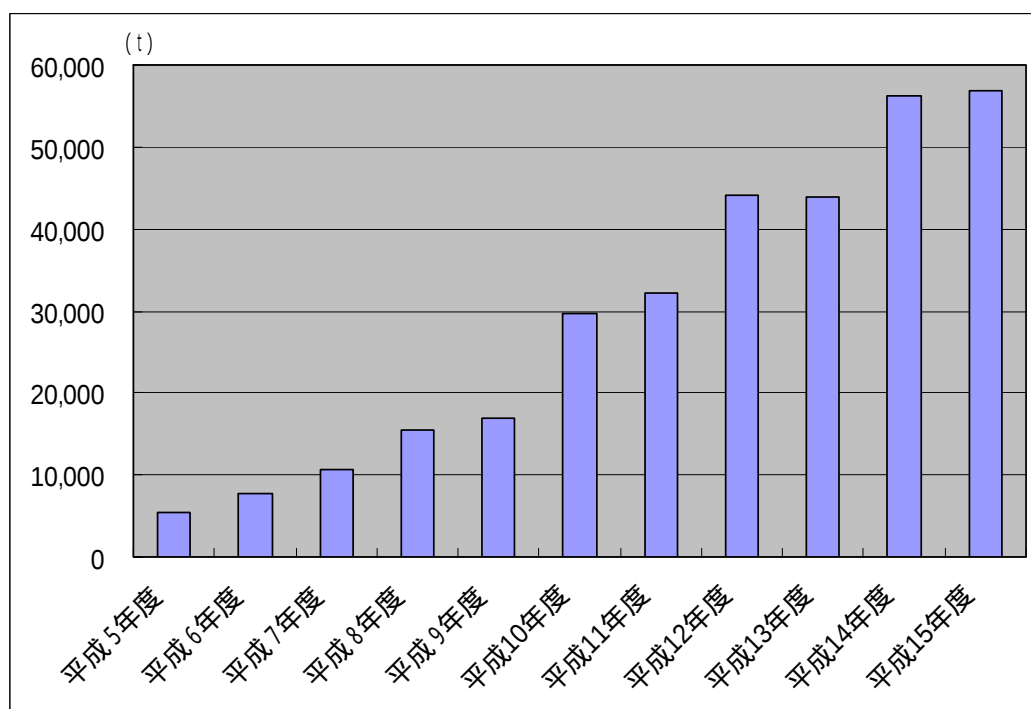


図 3.3.5-2 北海道開発局における凍結防止剤散布量

出典：北海道開発土木研究所

有機廃棄物を原料とする「有機融雪剤製造施設」での年間の有機融雪剤製造量を
有機融雪粒剤約 400t (有機融雪液剤 1,650 m³)
有機融雪粒剤約 800t (有機融雪液剤 3,300 m³)
とすると、融雪剤を散布可能な道路の長さを概略試算した(表 3.3.5-7)。

表 3.3.5-7 有機融雪剤製造量と散布可能な道路の長さ

有機融雪剤製造施設での年間有機融雪剤製造量を 400t (液剤 1650 m³) とするとき

・ 試算の条件： 対象道路巾 6 m 年間散布日数 50 日

有機融雪粒剤散布量 40g/m² 有機融雪液剤散布量 200ml/m²

・ 粒剤散布：道路 1 km 当たり 0.24t (240kg) が必要

散布日 1 日当たり散布可能な粒剤量は 8 t

1 日に有機融雪粒剤を散布可能な道路の長さは 延長 約 33km

・ 液剤散布：道路 1 km 当たり 1.2 m³ が必要、1 日当たり散布可能量は 33 m³

1 日に有機融雪液剤を散布可能な道路の長さは 延長 約 28km

有機融雪剤製造施設での年間有機融雪剤製造量を 800t (液剤 3300 m³) とするとき

・ 条件：道路巾 6 m、年間散布日数 50 日、粒剤散布量 40g/m²、液剤散布量 200ml/m²

・ 粒剤散布：1 日に有機融雪粒剤を散布可能な道路の長さは 延長 約 66km

・ 液剤散布：1 日に有機融雪液剤を散布可能な道路の長さは 延長 約 55km

2) 既存の道路散布機械の有機融雪剤散布への適用性

現状、融雪剤（凍結防止剤）の粒剤および液剤を散布する機械システムとして、凍結防止剤散布車が使用されている。現在使用されている代表的な凍結防止剤散布車を写真 3.3.5-9、写真 3.3.5-10 に示す。



写真 3.3.5-9 凍結防止粒剤散布車



写真 3.3.5-10 凍結防止液剤散布車

試作した有機融雪粒剤と有機融雪液剤の路上散布試験の状況から、上記散布車を有機融雪剤の散布システムに転用する場合、大きな支障があるとは考えられなかった。

実際に既存の粒剤散布車・液剤散布車を有機融雪粒剤・有機融雪液剤の散布機械システムとして適用する場合、留意すべき課題として指摘される事項を以下に示す。

有機融雪粒剤を既存の粒剤散布車で散布する場合、今回試作した有機融雪粒剤と同等（1 mm ～ 5 mm）の粒径の製品を単位面積当たり正確に散布するには、散布装置の目開きと実際の散布量につき再調整を行う必要がある。

有機融雪液剤を既存の液剤散布車で散布する場合、液剤に含まれる着色成分等多少粘性を有する有機成分が散布系統の配管やストレイナーに付着して、配管の詰まり等の支障が生じる恐れがある。この対策として、定期的かつある程度頻繁に配管等の洗浄を実施する必要があると考えられる。

3.4 有機融雪剤の製造プラント設計技術の研究

前章において、有機廃棄物を原料とする「有機融雪剤製造施設」での年間融雪剤製造量と凍結防止剤としての使用量の試算を行った結果の概要を表3.4-1と図3.4-1に再掲する。

表 3.4-1 特定の地域における融雪剤使用量と有機融雪剤年間使用量の試算

・ 特定地域での融雪剤使用量
北海道の融雪剤年間使用実績約 5.7 万 t (平成 15 年度) うち有機系融雪剤の使用量推定値 3000 ~ 6000t
青森県の融雪剤年間使用量概算 1.5 万 t、うち有機系の使用量推定値 750 ~ 1500t
* いずれも融雪剤使用量は粒剤 (固形薬剤) での重量である。
・ 北海道、青森県での有機融雪剤年間製造量と有機融雪剤製造施設数の試算
北海道での有機融雪剤年間製造量 : 3000 ~ 6000t
・ 有機融雪剤製造施設数 : 年 800t 製造施設 4 ~ 8 施設
青森県での有機融雪剤年間製造量 : 750 ~ 1500t
・ 有機融雪剤製造施設数 : 年 400t 製造施設 2 施設または年 800t 製造施設 1 施設 (年間製造量 750t の場合)
年 800t 製造施設 2 施設 (年間製造量 1500t の場合)

「有機融雪剤製造施設最小単位と製造量」	< 融雪粒剤製造施設最小単位での日製造量 >																		
・ 有機廃棄物原料受入れ : 日 5000L (約 5 t)	<table><tr><td>有機廃棄物原料</td><td>5000L (約 5 t)</td></tr><tr><td colspan="2">↓ ← 原料と等量の水添加</td></tr><tr><td>原料スラリー</td><td>10000L</td></tr><tr><td colspan="2">↓</td></tr><tr><td>有機分解液</td><td>5000L</td></tr><tr><td colspan="2">↓ ← 添加薬剤 (酢酸 Na)</td></tr><tr><td>有機融雪液剤</td><td>5500L</td></tr><tr><td colspan="2">↓ < 乾燥粒剤化 ></td></tr><tr><td>有機融雪粒剤</td><td>約 1.4t (1.375t)</td></tr></table>	有機廃棄物原料	5000L (約 5 t)	↓ ← 原料と等量の水添加		原料スラリー	10000L	↓		有機分解液	5000L	↓ ← 添加薬剤 (酢酸 Na)		有機融雪液剤	5500L	↓ < 乾燥粒剤化 >		有機融雪粒剤	約 1.4t (1.375t)
有機廃棄物原料	5000L (約 5 t)																		
↓ ← 原料と等量の水添加																			
原料スラリー	10000L																		
↓																			
有機分解液	5000L																		
↓ ← 添加薬剤 (酢酸 Na)																			
有機融雪液剤	5500L																		
↓ < 乾燥粒剤化 >																			
有機融雪粒剤	約 1.4t (1.375t)																		
・ 有機廃棄物原料 : 果汁製造残さ、農産廃棄物等																			
・ 施設稼働日数 : 年 300 日																			
・ 有機融雪粒剤日製造量 : 1.375t																			
・ 有機融雪粒剤年製造量 : 400t 強																			
・ 右記融雪剤製造プラントを 2 ユニット併設し施設規模を倍とすると、 有機融雪粒剤年製造量は 800t 強と見積もられる。																			

図 3.4-1 有機融雪剤製造最小単位と製造量の算定根拠

試算結果から、有機融雪剤製造プラントの最小単位（１ユニット）の規模と有機融雪剤製造施設の規模を以下のように想定して、製造施設の基本設計検討を実施するものとした。

有機融雪剤製造プラント最小単位（１ユニット）は粒剤年間製造量 400t 強を製造可能なプラント規模とする。

特定地域での有機融雪剤の散布量と融雪剤製造量とのバランスから、有機融雪剤製造施設の規模を年間融雪剤製造量 400t ないしは 800t とする。

上記製造施設規模を設定するうえで、各県における融雪剤（凍結防止剤）の年間使用量（概算推定量）と実際に国内で融雪剤として使用されている塩（塩化ナトリウム）の量を比較した。融雪剤として使用される塩の量を図 3.4-2 に、寒冷積雪地域の代表的な県における融雪剤使用量の概算値を表 3.4-2 に示す。

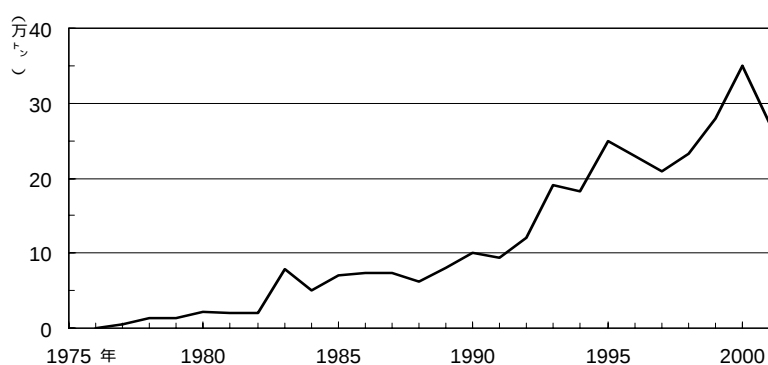


図 3.4-2 融雪剤に使用される塩の量の推移

表 3.4-2 各県の融雪剤年間使用量の概算推定結果

県名	寒冷積雪地人口	塩化物系融雪剤使用量	有機系融雪剤使用推定量	備考 (寒冷地域の人口算定)
北海道	567 万人	5.7 万 t *	3000 ~ 6000t	* 平成 15 年度実績値
青森	149 万人	1.5 万 t	750 ~ 1500t	
岩手	142 万人	1.4 万 t	700 ~ 1400t	
宮城	117 万人	1.2 万 t	600 ~ 1200t	県人口の 1/2 とした
秋田	119 万人	1.2 万 t	600 ~ 1200t	
山形	124 万人	1.2 万 t	600 ~ 1200t	
福島	106 万人	1.0 万 t	500 ~ 1000t	県人口の 1/2 とした
新潟	247 万人	2.5 万 t	1250 ~ 2500t	
富山	112 万人	1.1 万 t	550 ~ 1100t	
石川	118 万人	1.2 万 t	600 ~ 1200t	
長野	165 万人	1.7 万 t	850 ~ 1700t	県人口の 3/4 とした

注)・全国で年間に使用される塩化物系融雪剤の量を 35 万 t と仮定した。

・全国で年間に使用される有機系融雪剤の量を 1.75 万 t と仮定した。

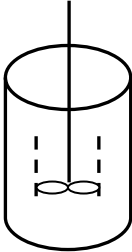
・各県の総面積に占める積雪寒冷地の割合から各県の該当人口を算出し、塩化物系、有機系それぞれの融雪剤使用量（および潜在需要）を算出した。

3.4.1 製造プラントの概略

実機拡張用モデル分解機(1 バッチ 1,000L スラリー分解)等を用いたパイロットプラントと実機プラント(日分解スラリー量 10,000L)を対比して表 3.4.1-1 に示す。いずれも原料には果汁製造残さおよび農産廃棄物を想定している。

表 3.4.1-1 有機融雪剤製造プラントの概略

工程	パイロットプラント	実機プラントの 条件、付帯設備
分解 工程	 大型ディスポーザ  再破碎混合槽  実機拡張用モデル分解槽	■ 5,000L 分解システム 2 式 ・原料スラリー調製槽 5000L 破碎混合槽 × 2 槽 ・大型ディスポーザ × 2 機 ・せん断攪拌分解槽 1 バッチ 5,000L 分解システム × 2 式 (分解槽 3 塔) ・コンプレッサ 2 機
分離 工程	 多重管型加圧ろ過試験機	■ 多重管型 (キャンドル型) 加圧ろ過システム 1 式 ・多重管型加圧ろ過機 1 機 - ろ布面積約 10m² 以上 ・全自動制御盤 ・多重管ろ過塔架台 1 式 ・分解懸濁液原液貯留槽 10,000L 容量 × 1 槽 ・ろ液貯留槽 6,000L 容量 × 1 槽

工程	パイロットプラント	実機プラントの 条件、付帯設備
金属塩 溶解 工程	 600L 有効容量溶解槽	■ アルカリ金属塩溶解システム 1 式 ・ 融雪液剤調製用溶解槽 容量 6000L × 1 槽
粒剤製 造工程	 コニカル型真空乾燥機  クイックミル型破砕機	■ 有機融雪粒剤製造システム 1 式 ・ コニカル型真空乾燥機 内容積 4000L 型 × 3 機 ・ ボイラ 1 式 ・ 真空ポンプ 1 台 ・ 低速型破砕機 1 機 ・ 分級装置 1 台

3.4.2 各装置のフロー図・基本仕様と施設レイアウト

分解装置、固液分離装置、粒剤製造装置の各装置システムのフロー図と装置システム本体の基本仕様を示す。また、有機融雪剤製造施設のレイアウト例を平面図に示す。

a) 分解装置のフロー図・基本仕様

1) 分解機本体のフロー図と仕様

5,000Lのスラリーを分解するシステム全体のフロー図を図 3.4.2-1 に示す。

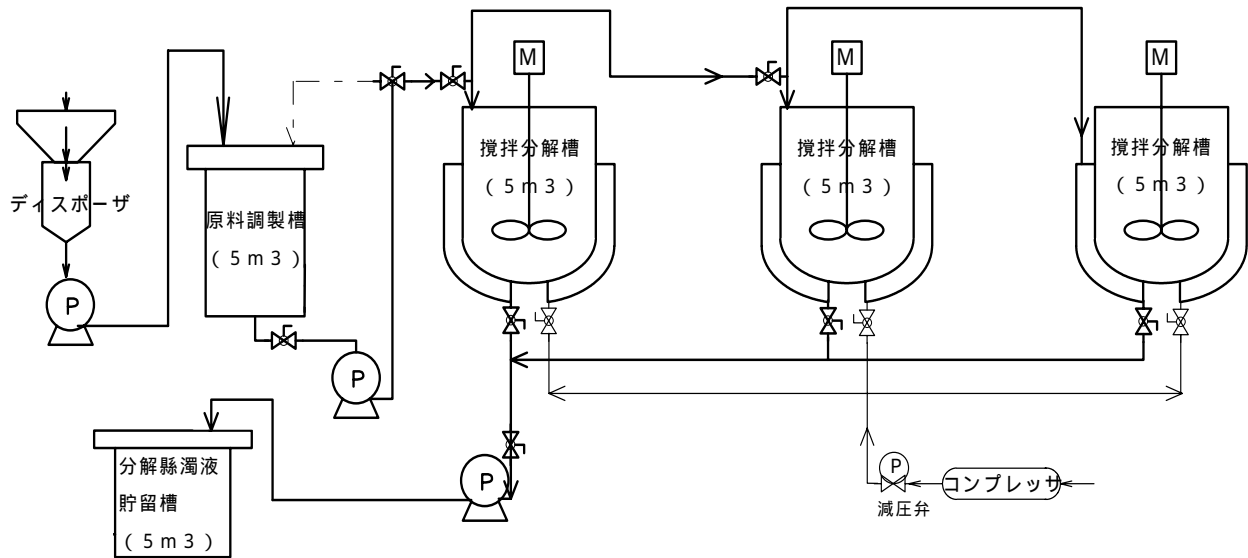


図 3.4.2-1 分解機システムフロー図

せん断攪拌分解機本体の基本仕様を以下に示す。

- ・ 処理能力 5,000L/日
- ・ 消費電力 50kW/日
- ・ 外形寸法 7,900mm (W) × 1,820mm (D) × 3,200mm (H)
- ・ ディスポーザ 7.5kW/hr
- ・ 攪拌機 17kW/hr
- ・ 設置場所 屋内設置仕様

2) 分離機本体のフロー図と仕様

多重管型加圧ろ過機本体のシステムフロー図を図 3.4.2-2 に示す。

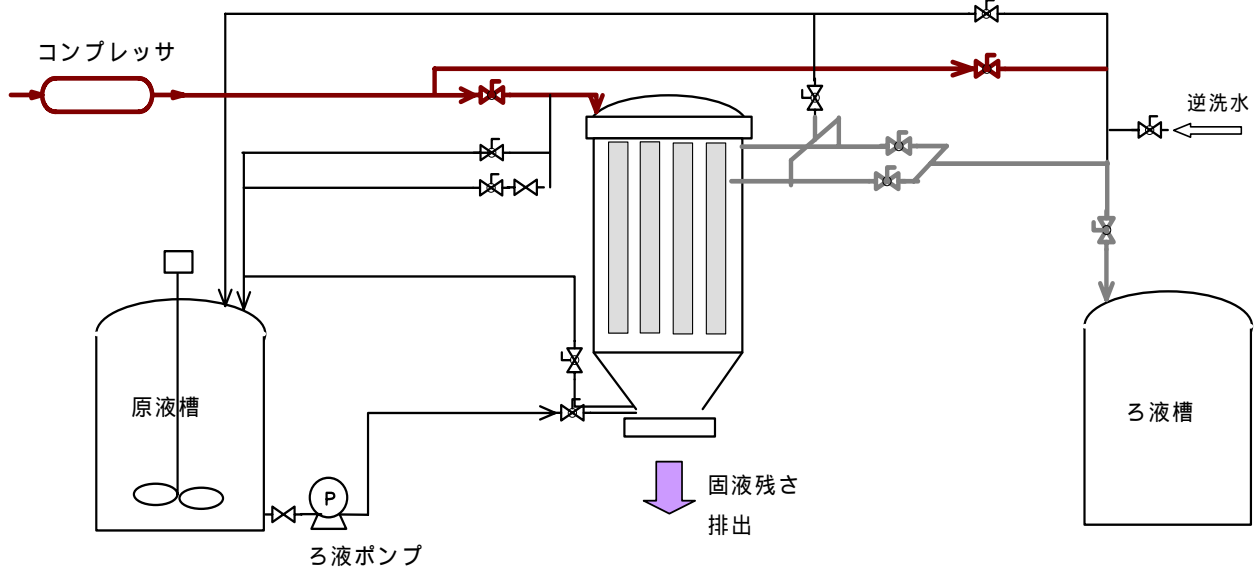


図 3.4.2-2 多重管型加圧ろ過機システムフロー図

多重管型加圧ろ過機本体の基本仕様を以下に示す。

- ・ろ過面積 11m^2
- ・キャンドル長さ $1,650\text{mm}$
- ・キャンドル本数 26 本
- ・タンク内容量 2.8m^3
- ・機器質量 2.1t

3) アルカリ金属塩溶解機のシステム図と仕様

有機分解液へのアルカリ金属塩添加溶解機のシステム図を図 3.4.2-3 に示す。

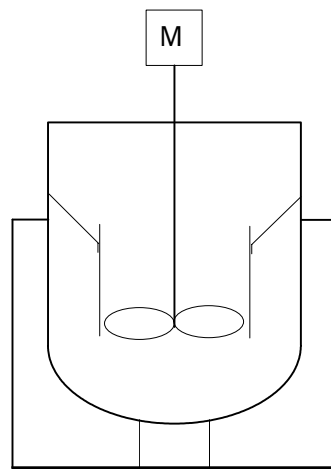


図 3.4.2-3 アルカリ金属溶解機のシステム図

アルカリ金属塩溶解機の基本仕様を以下に示す。

- ・ 処理容量 6,000L
- ・ 溶解槽外形寸法 溶解槽外形直径 2,100mm × 高さ 2,000mm
- ・ 攪拌機 50kW/hr 型
- ・ 設置場所 屋内設置仕様

4) 粒剤製造装置のフロー図

粒剤製造システムの心臓部である真空乾燥機本体のフロー図を図 3.4.2-4 に示す。

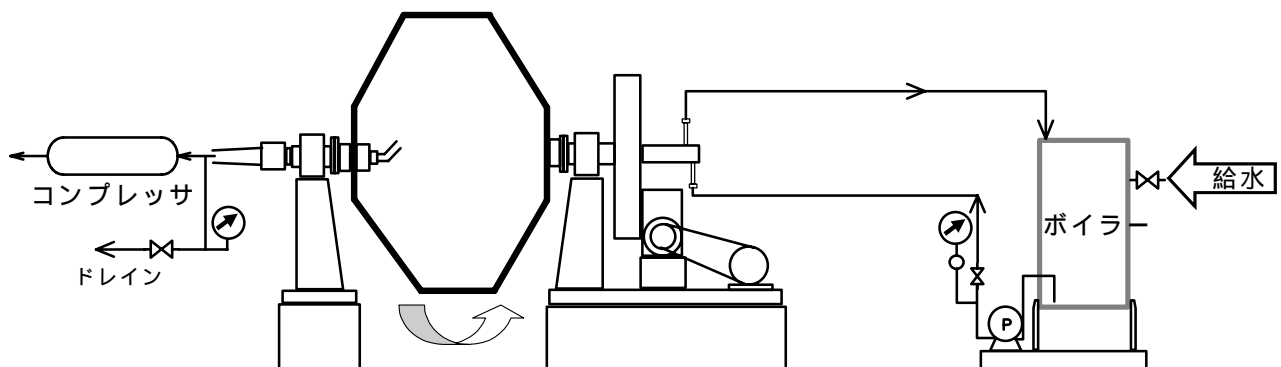


図 3.4.2-4 真空乾燥機フロー図

真空乾燥機本体の基本仕様を以下に示す。

- ・ 内容積 4,000L
- ・ 動力 7.5kW
- ・ 質量 2.0t

b) 有機融雪剤製造施設レイアウト

年製造量 400t 強の有機融雪剤製造施設および年製造量 800t 強の有機融雪剤製造施設の平面レイアウトの例をそれぞれ図 3.4.2-5、図 3.4.2-6 に示す。

1) 年 400t 製造有機融雪剤製造施設

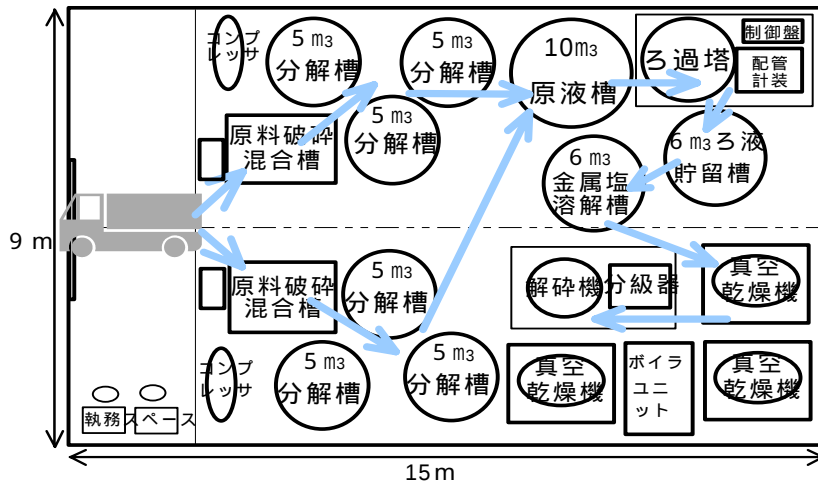


図 3.4.2-5 年 400t 製造有機融雪剤製造施設レイアウト

2) 年 800t 製造有機融雪剤製造施設

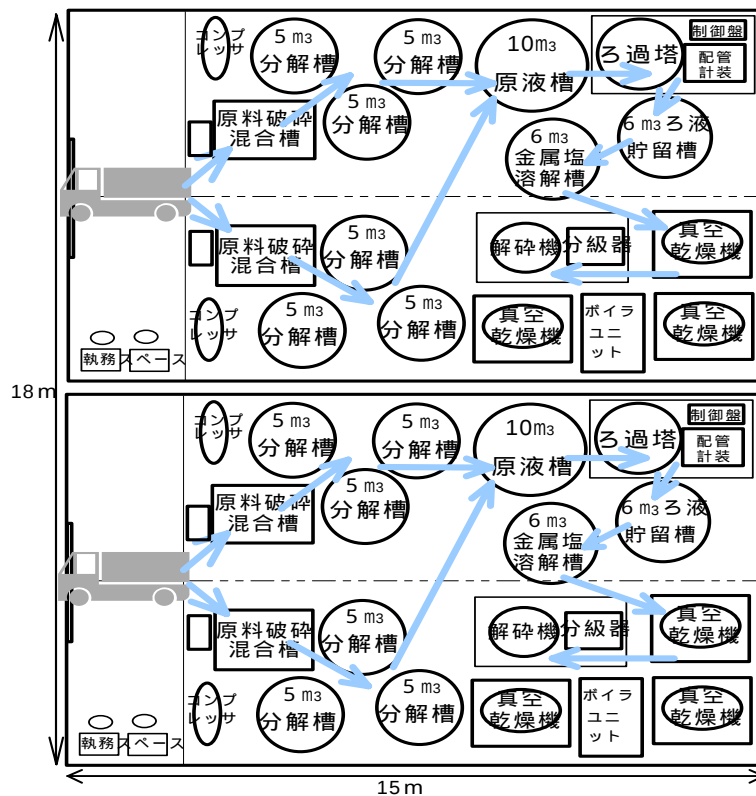


図 3.4.2-6 年 800t 製造有機融雪剤製造施設レイアウト

4．まとめ

有機融雪剤の目標製造コストを市販の類似有機融雪剤（凍結防止剤）の単価を参考に設定し、これらと有機融雪液剤と有機融雪粒剤の製造コスト試算結果とを比較した。また、製造プロセスの効率化と製剤性能向上の実現により、今回開発の有機融雪粒剤の製造コスト縮減達成が可能であったかを検証した。

環境保全に寄与するリサイクル製品の価値は、製造コストの比較のみでは正当に評価できないと考えられるため、廃棄物減量による社会コストの軽減や構造物・車両・街路樹への影響など、使用にともなう潜在的なコストを含めて評価する必要がある。そこで、塩化物系の融雪剤の使用で損なわれる橋梁の補修費用などを含めた環境コスト試算を実施した。

最後に、上記のコスト検討も踏まえて、有機融雪剤製造事業のための課題と今後の展開について総括する。

4.1 有機融雪剤製造のプロセスと製造コスト

4.1.1 有機融雪剤の目標製造コスト

市販の代表的道路融雪剤の単価を表 4.1.1-1 に記す。融雪剤単価は物価版を参照した。

表 4.1.1-1 市販道路融雪剤の単価

融雪剤種類	t 当たり単価	散布量	単位面積 当たり単価
塩化ナトリウム	2 万円～3 万円	30g/m ²	0.6～0.7 円/m ²
塩化カルシウム (防錆剤製品含む)	5 万円～5.8 万円	-	-
酢酸カルシウムマグネシウム	16 万円～21 万円 (160～210 円/kg)	30g/m ²	5～7 円/m ²

塩化カルシウムの単価：販売最小単位 1 t の場合、荷姿 25kg 袋

上記市販競合品の価格を参考に、路上試験で効果の得られた散布量をもとに、有機廃棄物を原料とする有機融雪剤の目標製造コストを設定した（表 4.1.1-2）。

表 4.1.1-2 有機廃棄物を原料とする有機融雪剤の目標製造コスト

有機融雪剤配合	目標製造コスト	散布量	単位面積当たり 製品単価
酢酸ナトリウム 20% 配合 有機融雪液剤	3.5 万円/ m ³ (35 円/kg)	200ml/m ²	7 円/m ²
酢酸ナトリウム 20% 配合 有機融雪液剤の粒剤化製品	17.5 万円/t (175 円/kg)	40g/m ²	7 円/m ²

有機融雪剤の製造コストを概略試算し、目標製造コストと比較評価した。スラリー分解工程で酵素を添加せずに融雪液剤製品を製造する場合のコスト試算結果を表 4.1.1-3 に、酵素添加によるプロセス効率化を実施し、乾燥粒剤化により有機融雪粒剤を製造する場合のコスト試算結果を表 4.1.1-4 に示す。

表 4.1.1-3 有機廃棄物を原料とする有機融雪液剤製造コスト概算

費用項目	製造費概算 (有機融雪剤製品 t 当たり)
施設・装置償却費	1.2 万円
ランニングコスト (薬剤添加費含まず)	0.8 万円
薬剤添加費(酢酸 Na)	2.7 万円
有機廃棄物受入れ費*	Δ 0.6 万円
計	4.1 万円 (41 円/L)

* 有機廃棄物(原料)受入れの収入を t 当たり 0.7 万円と仮定し、融雪剤製品 t 当たりで表した。

・年間 3300m³ 融雪液剤製造施設(有機廃棄物処理量日 10t)を想定して製造コストを算出した。

表 4.1.1-4 有機廃棄物を原料とする有機融雪粒剤製造コスト概算

費用項目	有機融雪粒剤製造コスト概算 (有機融雪粒剤製品 t 当たり)
施設・装置償却費	5.0 万円
ランニングコスト (薬剤添加費含まず)	5.7 万円
薬剤添加費(酢酸 Na)	10.8 万円
有機廃棄物受入れ費*	Δ 2.5 万円
計	約 18.9 万円/t (= 189 円/kg)

* 有機廃棄物(原料)受入れの収入を t 当たり 0.7 万円と仮定し、融雪粒剤製品 t 当たりで換算した。

・年間 825t 融雪粒剤製造施設(有機廃棄物処理量日 10t)を想定して製造コストを算出した。

有機融雪液剤の製造コストと有機融雪粒剤の製造コストの概略試算結果（いずれも有機廃棄物日処理量 10t 施設での算定）から、明らかとなったことを整理して記す。

有機融雪液剤の製造コストは 1 m³ 当たり 4.1 万円と試算され、目標製造コスト 1 m³ 当たり 3.5 万円と目標製造コストの 1.2 倍近い額となった。

有機融雪粒剤の製造コストは t 当たり 18.9 万円と試算され、目標製造コスト t 当たり 17.5 万円との差額は液剤と比べて小さなものであった。実際の製造コストは、今回のコスト試算に含めていない土地使用代や税金等が加算され、さらに高額になるが、施設建設費用の大半をリサイクル施設補助などの公的補助金を導入することなどにより目標製造コストを達成する可能性は高いと判断される。

有機融雪粒剤の製造コストを縮減することができた要因をコスト低減への寄与の程度の高い順に示す。

- (1) 有機液剤の固形剤化（粒剤化）により、路上散布で効果を示す散布量を減らすことができ、製品の付加価値を上げることができた。
- (2) 酵素添加による分離プロセス効率化により高価な固液分離機の規模を縮小でき、製造プラント建設コストを抑えることができた。

4.2 融雪剤の道路・構造物への影響と環境コストの試算

前節において、有機融雪剤の製造コストの検討を行った結果、製品単価のみにより塩化物系融雪剤（凍結防止剤）と比較すると有機融雪剤の製品単価が高くなるため、有機物系が塩化物系に替わり主要な融雪剤として普及するには、コスト面で高い障壁がある。そこで、融雪剤散布による環境影響を加味する評価の一つの手法として、塩化物系融雪剤の道路・構造物への影響を含めた環境コストを試算することにより、融雪剤使用の面から見たトータルでのコストについて検討した。

土木研究所が平成 11 年度～12 年度に実施した、全国のコンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査において、沿岸部以外のコンクリート橋においても劣化が見つかった。そこで、調査対象のうち 20 橋について RC 床版を対象としてコア抜き調査を行い、塩化物イオンの分布を調査した（参考文献(1)参照）。その結果、融雪剤の散布量との因果関係は明らかでないものの、14 橋に外部からの塩化物イオンの浸入が認められた。

日本で融雪剤の散布量が増加したのは、スパイクタイヤが全面使用禁止になった平成 3 年頃からであり、その後 15 年程度しか経過していないため、現状では構造物に大きな損傷は発生していないものと考えられる。しかし、国内での融雪剤使用量が今後欧米並みになった場合、構造物の維持管理コストは著しく増加すると考えられる。

通常、橋梁の寿命は 50～60 年程度であり、20～30 年で 1～2 回の大規模修繕が必要と言われている。一方、海水による塩害の被害を受けた橋梁では 10～15 年程度で補修を行っている。このため、塩化物系融雪剤の使用が増加した場合、塩害と同様の被害が発生し、橋梁の大規模修繕の頻度は 2 倍程度に増加することが予想される。

例えば、幅 9 m×長さ 30m×厚さ 0.2mの橋梁において、塩化物系融雪剤により最も被害を受けやすいと考えられる橋梁床版をポリマー系セメントによって断面修復（直接工事費単価：180 万～290 万円/m²）する場合、その補修費はおおよそ 9,700 万～15,600 万円に達すると試算される。

また、Donald F. Vitalano の報告によると、塩化物系融雪剤の影響を塩 1 t 当りの補修費で表すと、橋梁補修費等は以下の額になると試算されている（参考文献(2)参照）。

- ・橋梁補修費：\$615
- ・車両への影響：\$113
- ・自然景観への影響：\$75

被害総額：\$803

ここで、\$1 = 110 円とすると、上記被害総額は円換算で 88,330 円/t にもなり、塩化ナトリウム製品単価の 2～4 倍の社会インフラ維持・修繕にかかる潜在的なコストが発生していることになる。

さらに、ドイツ連邦における道路橋の補修事例で、塩化物系融雪剤に起因すると推定される補修事例およびその補修に要するコストを表 4.2-1 に示す（参考文献(3)参照）。

表 4.2-1 ドイツ連邦における道路橋の補修事例とコスト

橋梁名	規模(幅×長さ)	建設費 (DM)	補修費 (DM)	補修内容
フォルマーシュタイ ン溪谷橋	29×315m	4,160,000	1,165,000	床版コンクリート除去後、ポ リマ ー エ ル タ ルによる断面修復
ヘヒトハウゼン・オ ー ステ橋	11.5×111m	不明	650,000	床版伸縮目地の遮水補 修
ザールツァッハ河 ティットモーニン グ・エッテナウ橋	7.7×254m	不明	3,300,000	構造部材(上部工、橋脚、 橋台)の補修・取替え
ファラーラム橋	10.6×320m	4,400,000	4,000,000	伸縮装置交換、床版コン クリ ー ト除去後、ポ リマ ー エ ル タ ルによる断面修復
高速道路 A3 エーセルスウィー グ 跨道橋	(10.0～12.9)× 58.4m	721,450	878,000	伸縮装置交換、コンクリ ー ト除去後、ポ リマ ー エ ル タ ルによる 断面修復
エッヘルスハッハー 橋	10.26×182.83m	900,000	5,200,000	床版コンクリート除去後、ポ リマ ー エ ル タ ルによる断面修復
ハックホルツハウゼ ン溪谷橋	14×135m	1,090,000	2,960,000	鋼材交換、剥落コンクリ ー ト部 吹き付け、床版増厚
ライン河 クレー ハ・エメリッヒ橋	21.8×803m	47,900,000	4,900,000	塗装塗り替え
高 速 道 路 A61 モーゼル ー ル橋	30×935.09m	46,390,000	8,700,000	塗装塗り替え

今後、構造物の維持管理コストが大幅に増加する中で、融雪剤の使用に当たっては、融雪剤単価でのコスト比較ではなく、構造物や自然環境への負荷増加などを含めたトータルコストでの比較が必要になるとと思われる。

参考文献

- ・参考文献(1) コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究、土木研究所資料第 3811 号、平成 13 年 3 月
- ・参考文献(2) An Economic Assessment of the Social Costs of Highway Salting and Efficiency of Substituting a New Deicing Material, Donald F. Vitalion, Journal of Policy Analysis and Management, Vol.11, No.3, pp397-418, 1992
- ・参考文献(3) ドイツ連邦交通省道路建設局、道路橋の補修・補強事例集報告書 1990、土木施工 4 月臨時増刊、Vol.36, No.5, 1995

4.3 有機融雪剤製造事業実現のための課題と今後の展開

本フィージビリティスタディで総合的に検討を実施した、有機融雪剤製造プロセスと製造プラント、有機融雪剤製造事業の実現と普及について、スタディの成果を整理するとともに残された課題と今後の展開について記す。

4.3.1 有機融雪剤製造プロセスと製造プラント

有機廃棄物加水スラリーの分解過程の改良により、高濃度原料スラリーの調製を可能とし、かつ速やかな高温好気分解プロセスを実現した。さらに、高温好気分解過程において比較的安価な繊維質分解酵素を添加することにより、分解時間の大幅な短縮と難分解繊維質の低分子化を可能とした。これらのプロセス効率化技術の実現により、製造工程で最も割高であった特殊ろ過装置の規模の縮小が可能となり、装置コスト軽減につながることを確認した。

しかし、この乾燥・粒剤化に要する機械装置と固形剤化エネルギーのコスト負荷が比較的大きく、市販有機融雪剤に対しては、もう少しで価格競争力を有する製造コストを達成することが可能となるところまで到達した。

今後は固形剤化の工程の効率化とコスト縮減をするために、バッチ処理から連続処理への固形剤化の方法について検討する。また、高温分解で発生する熱を固形剤化の乾燥工程に利用するなどのプラント・工程改良などによるコスト縮減策の検討が必要であると考えられる。

また、繊維質分解酵素の添加コストは融雪剤製造ランニングコストの相当部分を占める。有機廃棄物スラリーの分解・低分子化に限らず、有機廃棄物減量化工程にきのこ廃菌床由来の酵素など、農産廃棄物から抽出可能な繊維質分解酵素を効果的に活用することは、有機廃棄物の処理コスト低減のため重要な課題であり、今後の研究を実施する意義が十分あると思われる。

4.3.2 有機融雪剤製造事業の実現と普及

有機廃棄物を処理再生して有機融雪剤製品を製造する事業においては、「製品製造コストの低減」および「製品性能と品質の向上」が最も重要な課題と考えられた。

両課題の克服のため、まず製品製造プロセスの効率化検討により、高濃度原料スラリー調製・分解効率化と酵素添加による難分解性繊維質の低分子化を可能とし、さらに製品形態の多様化検討により、有機融雪液剤の粒剤化に見通しをつけ、あわせて製品性能の向上を達成することができた。これらの成果の達成により、事業化のための課題をある程度解決することができたが、未だに製品製造のコスト低減に関しては多くの課題が残されているといわざるを得ない。

有機融雪剤製造事業実現のためには、リサイクル施設に対する公的補助金などの活用が必須であり、短期的な視野に立てば、ランニングコスト補助を含め公的補助金の導入を図る必要がある。

しかし、本事業の意義は、通常のリサイクル事業における「廃棄物減量・有用製品製造」

のみにあるのではなく、融雪剤散布による橋梁等の損傷や車両の腐食および街路樹等への影響を最小限にとどめ、現状使用されている塩化物系融雪剤によってもたらされる社会インフラ維持・補修費等の公共コストを軽減することが重要な本来目的の一つである。この目的を達成することが、長期的には社会インフラ維持修繕等の費用を含めたトータルでのコストを最小限に抑え、あわせて沿道環境を良好に保つことにつながると考えられる。

従って、有機融雪剤製造事業の実現・普及には、グリーン購入製品指定などを含め、行政の協力による積極的な施設建設・製品使用を押し進めることが肝要であると思われる。

また、現状の融雪剤製品使用者としては、道路管理者の枠を越えないことを前提として事業の形態を想定しがちであるが、本事業の場合、未利用有機資源（有機廃棄物）の排出者および地域の生活者も事業の当事者・推進役を含めた「未利用有機資源活用と社会インフラ・環境保全」活動推進の枠組みを提言し、実現に向けた地域活動を始動することが重要であろう。

このような事業実現を目指すとき、生活道路や歩道の除雪・凍結防止に融雪液剤を適用すること、また定着性の高い副産物系すべり止め材を対策の一つとして加えるなどの選択肢が新たな使用用途につながる。そして、これら多様な有機融雪剤の使用は、現状幹線道路での車両交通の安全・利便確保に使用される低コストな塩化物系融雪剤との競合を避け、本リサイクル事業立ち上げに有効な手段となるものとする。

- 禁無断転載 -

システム開発 16 - F - 3

有機融雪剤製造機械システムの開発に関する
フィージビリティスタディ報告書
— 要 旨 —

平成 17 年 3 月

作 成	財団法人	機械システム振興協会 東京都港区三田一丁目 4 番 28 号 TEL 03-3454-1311 (代)
委託先	財団法人	エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター 東京都港区西新橋 1 丁目 4 番 6 号 TEL 03-3502-3671 (代)
印刷・製本		株式会社 三州社