

令和6年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業

令和6年度

脱炭素型循環経済システム構築促進事業

(うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業)

(ベッドマットレスのポリウレタンケミカルリサイクル)

委託業務成果報告書

令和7年3月

三井化学株式会社

要旨

本事業は、国内においてマットレスを中心としたポリウレタンが廃棄物として回収され、サーマルリサイクルや単純焼却により環境負荷の高い方法で処理されている現状に対し、カーボンニュートラルへの対応を背景に、ベッドやマットレスの製造・販売を行うパラマウントベッド株式会社、ケミカルリサイクルに向けた前処理を行うリバー株式会社、及びポリウレタン原料製造を行う三井化学株式会社の 3 社が連携し、低コスト且つ低炭素なケミカルリサイクル技術、及び回収・リサイクルシステムの確立を通じて国内初のポリウレタンケミカルリサイクルの実用化（事業化）を目指すものである。

本事業 2 年目にあたる令和 6 年度は、以下の検討を実施した：

回収・分別の最適化検討

- i. リサイクル可能なマットレスの量を把握するにあたり、ベッドやマットレスの製造・販売を行うパラマウントベッド株式会社にて、介護用マットレスの回収拡大に向けて介護施設等の運営事業者に対するヒアリングを通じた意向調査やリサイクルを実施した。パラマウントベッドが広域認定制度にて回収することができる介護用マットレスの回収量ポテンシャルとしては、関東圏で 9.7t/年、全国で 31.7t/年であることを確認した。
- ii. 使用済みマットレスの発生元から減容化・前処理拠点に至るまでの輸送方法の検討、それに伴う輸送コストの試算を実施した。

解体・破碎・選別の最適化検討

- i. 使用済みマットレスのケミカルリサイクルを実施するに当たり、ケミカルリサイクル側の原料要求に合わせ、カバーやタグ等の装飾品や治具類を取り外し、ウレタンフォームのみに分別する必要がある。そのため、令和 5 年度活動ではリバー株式会社にてウレタンマットレスの構造（特にウレタン以外の素材の量や使われ方）や使用済みマットレス特融の性質等を把握した。テスト対象としてパラマウント社製ウレタンマットレス 4 枚を使用

した。手解体（精緻解体）を通じ、解体器具の選定、および効率的な解体方法の検証を確認した。ウレタンマットレスによっては、そもそも手解体が困難なものが存在する点、また精密に解体ができる一方で時間がかかるため、手解体は大量処理には向かない点が確認できた。回収するマットレスの量により、手法を選択する必要があることを認識した。破碎後の選別においては、光学選別機を利用したウレタンとポリエステル分別を行った。

- ii. 本年度は令和5年度活動内容を踏まえ、より大量処理をした場合の問題点を確認すべく600枚（2,531kg）の破碎・固化テストを行った。また、コスト削減のため、設備を他業務と共用できるか、共用した場合の問題点についても確認した。

事業化に向けたケミカルリサイクル技術の実証

- i. 事業化に向けたケミカルリサイクル技術の実証では、昨年度からの残課題となっていたPOP由来固形物のろ過条件最適化検討や再生ポリオール収率アップのための精製条件最適化検討を行い、委託先でのスケールアップした再生ポリオール試製に向けた最適な分解・精製方法等の製造条件を確認できた。
- ii. 最適化した製造条件のもとで選定した委託先において再生ポリオールのスケールアップ試製を行い、一部課題は残ったもののフォーム製造及びマットレス製品試作評価を行うために必要な量及び品質の再生ポリオールを確保することができた。

フォーム製造・製品試作の検討

- i. フォーム製造に向けては、三井化学株式会社のケミカルリサイクル技術の実証より分解・回収した再生ポリオール及びその再生ポリオールを使用したポリウレタンフォーム、そのフォームを用いたマットレスについての評価方法を確立し、これら物性に関する品質試験を実施する必要がある。そのため、

スケールアップ試製で得られた再生ポリオールを用いてフォーム製造委託先でのフォーム製造ラインテストを通じて、フォームの成形性、物性の確認し問題ないことが確認できた。

- ii. フォーム製造委託先で試作したフォームを用いたマットレス試作を通じてマットレスとしての性能評価を行い、一部メンテナンスや使用・保管の温湿度環境による影響を受ける可能性がある事項が確認されたが、短期使用では問題ないことが確認され、初期評価としては良好な結果が得られた。

LCA の検証・評価

- i. エネルギー起源・非エネルギー起源といった切り口で、ライフサイクル（回収—解体—リサイクル（一部廃棄）—原料製造—製品製造）を定義し、ライフサイクル上の 1 次データの把握を実施した。ライフサイクルを通じてケミカルリサイクルを実施した場合の CO₂ 排出量の評価から、今回のフローでは各工程に伴い発生する廃棄物処理による CO₂ 排出が全体の約半分を占める結果を確認した。
- ii. さらに、ベースラインとなることが想定されるバージン材を使用し焼却廃棄を行うマットレスライフサイクルと比較した際の CO₂ 排出量削減効果についても試算を実施した。実証事業終了時点では規模がウレタン重量 50t と少ないことから CO₂ 削減効果も年間 330t 弱にとどまったが、普及段階の 2035 年ではウレタン重量 5,500t となることが想定できるため、CO₂ 削減効果は約 36,000t となることが期待される。

社会実装に向けた課題解決策検討

- i. 本事業年度では、回収可能なマットレス量、最終製品への再生ポリオール使用量、前処理工程を機械化した際の処理能力を試算するとともに、各社が社会実装のために必要な導入設備や運搬・保管・製品開発等を含めた各プロセスのコストの算出、および再生ポリオールの製造にかかる全体のコスト試算を行った。プロセスごとにコスト削減の余地はあるが、当初の目的であった再生ポリオールをバージン材と同等の価格にすることは困難で

あり、スケールメリットの追求が重要である。エンドユーザーのリサイクル意識向上やリサイクル材の価値向上等、ソフト面での訴求も重要である。今後は広報活動や顧客との丁寧なコミュニケーションなどを通じた活動を行う。本事業で検証したマットレスのケミカルリサイクルの社会実装を引き続き三社で協力して行うものとし、将来的には自動車シートに含まれるウレタンフォーム等マットレス以外の製品もリサイクルの回収対象として検討する。

Summary

In Japan, polyurethane from mattresses is often discarded through thermal recycling or simple incineration, an environmentally taxing manner of disposal.

This project aims to tackle this issue in Japan, through collaboration between Paramount Bed Co., Ltd (Paramount), a bed and mattress manufacturer and seller, Rever Corporation (Rever), engaged in pre-treatment for chemical recycling, and Mitsui Chemicals, Inc., a polyurethane raw material producer. Together they aim to develop and commercialize an innovative low-cost, low-carbon chemical recycling technology and recovery method for polyurethane in Japan.

In the second year of this project, corresponding to fiscal year 2024, the following investigations were conducted:

Optimization of Collection and Separation

- i. To ascertain the recyclable volume of mattresses Paramount conducted survey with operators of nursing care facilities and other establishments. The survey confirmed that under the Wide-area Certification System, Paramount has the potential of collecting 9.7 tons/year from the Kanto region and 31.7 tons/year nationwide.
- ii. In addition, methods to transport used mattresses to pre-processing sites and the associated transportation costs were analyzed.

Optimization of Dismantling, Crushing, and Sorting

- i. To implement chemical recycling of used mattresses, it is necessary to separate the polyurethane foam from other components, such as covers, tags, decorative elements, and fixtures, to meet the raw material requirements of the chemical recycling process. During the activities conducted in fiscal year 2023, the structure of polyurethane mattresses (particularly the quantity and

usage of non-polyurethane materials) and the unique characteristics of used mattresses were analyzed in collaboration with River Co., Ltd. For testing purposes, four polyurethane mattresses manufactured by Paramount Bed Co., Ltd. were utilized. Through manual disassembly (precise dismantling), the selection of disassembly tools and the verification of efficient disassembly methods were examined. It was observed that certain polyurethane mattresses are inherently difficult to disassemble manually. While manual disassembly allows for precise separation, it is time-consuming and therefore unsuitable for large-scale processing. This highlighted the need to select appropriate methods based on the volume of mattresses to be processed. Additionally, during post-shredding separation, optical sorting machines were employed to separate polyurethane from polyester.

- ii. Building upon the activities conducted in fiscal year 2023, this year, a shredding and solidification test was performed on 600 mattresses (weighing 2,531 kg) to identify potential issues associated with large-scale processing. Additionally, to explore cost reduction strategies, the feasibility of sharing equipment with other operations was examined, along with an assessment of any challenges that may arise from such shared use.

Experimental Research on Chemical Recycling Technology for Commercialization

- i. In the demonstration of chemical recycling technology aimed at commercialization, efforts were made to address the remaining challenges from the previous fiscal year. These included optimizing filtration conditions for solid substances derived from POPs and refining purification conditions to improve the yield of recycled polyol. As a result, the optimal decomposition and purification methods, as well as other manufacturing conditions, were identified to facilitate the scaled-up production of recycled polyol at the commissioned facility.

- ii. Furthermore, under the optimized manufacturing conditions, a scaled-up trial production of recycled polyol was conducted at the selected commissioned facility. While some challenges remain, a sufficient quantity and quality of recycled polyol were successfully secured to enable the production of foam and the prototyping and evaluation of mattress products.

Consideration of Foam Manufacturing and Sample Production

- i. For foam production, it is necessary to establish evaluation methods for recycled polyol obtained through the decomposition and recovery process of Mitsui Chemicals, Inc.'s chemical recycling technology, as well as for polyurethane foam produced using this recycled polyol and mattresses made from the foam. Quality tests related to the physical properties of these materials must also be conducted. To this end, using the recycled polyol obtained from the scaled-up trial production, a foam production line test was conducted at the commissioned foam manufacturing facility. Through this test, the moldability and physical properties of the foam were confirmed to be satisfactory, with no issues identified.
- ii. Additionally, performance evaluations of mattresses were conducted using prototype foam produced at the commissioned foam manufacturing facility. While it was identified that certain factors could potentially be affected by maintenance practices and the temperature and humidity conditions during use and storage, it was confirmed that there were no issues for short-term use. As an initial evaluation, the results were favorable.

Life-cycle Assessment (LCA)

- i. The LCA defined life cycle stages (collection, dismantling, recycling (partially discarded), raw material manufacturing, product manufacturing) from energy and non-energy consumption perspective and primary data on

the life cycle was collected. Upon evaluating carbon dioxide (CO₂) emissions during chemical recycling throughout the life cycle, it was confirmed that the carbon dioxide (CO₂) emissions from waste treatment generated in each process accounted for about half of the total carbon dioxide (CO₂) emissions.

- ii. A trial was conducted to validate the reductions in carbon dioxide (CO₂) emissions by comparing this process with the baseline scenario involving virgin materials and incineration. At the end of the demonstration, the reduction in carbon dioxide (CO₂) emission was below 330 tons per year for the small scale of 50 tons of urethane. However, by 2035, during the dissemination stage with an estimated urethane weight of 5,500 tons, the expected carbon dioxide (CO₂) reduction is about 36,000 tons.

Consideration of Solutions for Social Implementation

- i. In this fiscal year, estimates were made regarding the quantity of recoverable mattresses, the amount of recycled polyol used in final products, and the processing capacity when the pretreatment process is mechanized. Additionally, the costs for each process—including the introduction of necessary equipment, transportation, storage, and product development—were calculated, along with an overall cost estimate to produce recycled polyol. While there is room for cost reduction in each process, it was determined that achieving the initial goal of making recycled polyol comparable in price to virgin materials is challenging. This highlights the importance of pursuing economies of scale. Furthermore, it is considered essential to promote awareness of recycling among end-users and enhance the perceived value of recycled materials. Efforts will be made in this regard through public relations activities and careful communication with customers. Moving forward, the three companies involved will continue to

collaborate on the social implementation of mattress chemical recycling, as verified in this project. In the future, the scope of recycling will be expanded to include products beyond mattresses, such as polyurethane foam used in automobile seats, as potential targets for recovery and recycling.

目次

要旨	1
Summary	5
1. 序章	14
1-1. 本事業の背景と目的<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>	14
1-2. 実施体制<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>	15
2. 回収・分別の最適化検討	16
2-1. 検討の全体像	16
2-2. トレーサビリティ	17
2-2-1. 検討概要	17
2-2-2. プロセス・検討結果	17
2-3. 回収・分別のプロセス・ポテンシャル<令和5年度活動内容 参考情報のため 記載>	23
2-3-1. 検討概要	23
2-3-2. 試算方法	24
2-3-3. 試算結果	28

3. 解体・粉砕・選別の最適化検討	30
3-1. 検討の全体像.....	30
3-2. マットレス解体手法の検討<令和5年度活動内容 参考情報のため記載> ...	31
3-2-1. 検討概要.....	31
3-2-2. 検討方法.....	31
3-3. ウレタン破砕手法の検討<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>	37
3-3-1. 検討概要.....	37
3-3-2. 検討手法.....	37
3-4. ウレタン選別テスト<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>	40
3-4-1. テスト概要	40
3-4-2. テストプロセス	40
3-5. 減容化テスト<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>	58
3-5-1. テスト概要	58
3-5-2. テストプロセス	58
3-5-3. テスト結果	72
3-6. 多量粉砕・固化テスト	74

3-6-1. テスト概要	74
3-6-2. テスト結果	75
3-7. 粉砕機を他業務と共用した場合の検討	76
3-7-1. 検討概要	76
3-7-2. 検討方法	76
3-7-3. 検討結果	77
3-8. マットレス解体手法～減容化手法検討結果	81
4. 事業化に向けたケミカルリサイクル技術の実証	82
4-1. 検討の全体像	82
4-2. ウレタンフォーム分解手法の検討	82
4-2-1. 検討概要	82
4-2-2. 検討方法	83
4-2-3. 検討結果及び考察	86
4-3. イソシアネート由来成分の再利用手法検討	99
4-3-1. 検討概要	99
4-3-2. 検討方法	100

4-3-3. 検討結果及び考察	102
5. 再生ポリオールによるフォーム製造・マットレス評価.....	104
5-1. 検討概要.....	104
5-2. 検討方法.....	105
5-3. 検討結果及び考察（フォーム品質評価）	106
5-4. 検討結果及び考察（マットレス品質評価）	111
5-4-1. 評価概要（サンプル製品および製品評価項目）	111
5-4-2. 試験実保および基準.....	112
5-4-3. 結果及び考察.....	114
6. LCA の検証・評価.....	118
6-1. 検討概要＜令和 5 年度活動内容 参考情報のため記載＞	118
6-2. 検討方法＜令和 5 年度活動内容 参考情報のため記載＞	119
6-3. 検討結果及び考察	124
7. 社会実装に向けた課題解決策検討.....	131
7-1. 物量確保.....	131
7-2. 経済性	134

7-3. 実装までのステップ.....	144
7-4. 将来構想.....	146
7-5. 今後取り組むべき課題と対応方針	148

1. 序章

1-1. 本事業の背景と目的<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>

カーボンニュートラルへの対応を背景に、海外ではポリウレタンリサイクルに向け化学大手などがバリューチェーンを構築し、廃棄マットレスをリサイクルする循環型経済プログラムやコンソーシアムを立ち上げ、グローバルでのコラボレーションと、ポリウレタンを真の循環材料に変換するための新しい方法、技術、およびアプローチの模索が推進されている。一方、国内ではマットレスを中心としたポリウレタンは廃棄物として回収され、その多数がサーマルリサイクルまたは単純焼却されている。また、ポリウレタン以外にポリエステルやスプリング等の金属が使われているマットレスについては、処理困難物として排出者（産廃排出者または一廃として受け入れる自治体等）にとって大きなコストとなっている。

1-2. 実施体制＜令和5年度活動内容 参考情報のため記載＞

本事業では、ベッド製造・販売を行うパラマウントベッド株式会社、リサイクル（ケミカルリサイクルの前処理）を行うリバー株式会社、およびポリウレタン原料製造を行う三井化学株式会社の3社が中心となり、低コスト且つ低炭素なケミカルリサイクル技術や、回収からリサイクルまでのプロセス確立を目指す。



図 1 実施体制

2. 回収・分別の最適化検討

2-1. 検討の全体像

本節においては、分解リサイクルするマットレスを効率的に回収することを目的にベッドやマットレスの製造・販売を行うパラマウントベッド(株)にて「回収対象製品の選定」「回収量試算」「輸送方法の検討」を実施した。なお、回収については広域認定制度の活用を前提とする。

回収対象製品の選定ではパラマウントベッド(株)にて販売している製品の内、直近での販売量が多く分解しやすい製品を選定した。その後、パラマウントベッド(株)と取引のあるマットレスレンタルやリース事業者に対してウレタンリサイクルへの参画意識調査を実施し、想定回収量の試算を行い、各地からの輸送方法を検討した。

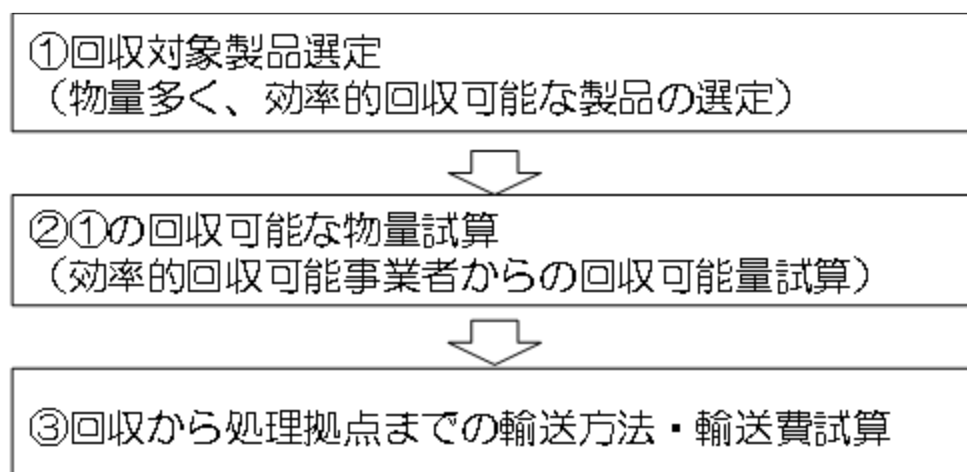


図 2 回収・分別検討の流れ

2-2. トレーサビリティ

2-2-1. 検討概要

トレーサビリティが確保できる仕組みを構築するにあたり、原料調達・減容化・CRプロセスにおいてどのような単位で情報を管理するかについて検討した。パラマウントベッド社製のマットレスをリサイクルすることにより得た再生ポリオールをパラマウントベッドの製品に再利用するクローズドループのスキーム構築を前提としている。

また、上記の管理単位に対して、どのような項目を情報として管理するか、どのようなシステムで情報を管理するかについても検討を実施した。

2-2-2. プロセス・検討結果

トレーサビリティの管理粒度に関する検討結果を図3に示す。

原料調達については荷姿ごとに情報を管理する。減容化プロセスにおいては原料調達時に管理している物理単位と1対1対応で物理的に管理し情報を紐づけることで、パラマウントベッド社製のマットレス由来の減容化サンプルを他社製のマットレスと分別することが可能である。

CRプロセスにおいては、管理単位である減容化サンプルを一定の比率で混合させたもの（減容化サンプル群）を用意する。ここにおいて、反応前のサンプルである減容化サンプル群はどの減容化サンプルがどのような比率で混ざっているかの情報を引き継いでおり、よってどのマットレス由来がどの程度の比率であるかも把握できている。その減容化サンプル群を釜で複数回反応させたときの反応物については、同じ減容化サンプル群から合成されたものは分別せず、同一のものとして物理的に管理、減容化サンプル群の情報と紐づける。

上記プロセスによって、CR後のサンプルがどのマットレス由来であるかを実態通りに把握することができることに加え、素材となるマットレスの混合比率を一定にすることで品質の安定化・証明にも寄与すると想定される。トレーサビリティの管理粒度につ

いては管理コスト・市場ニーズ等も加味しながら、マスバランス方式の適用等、引き続

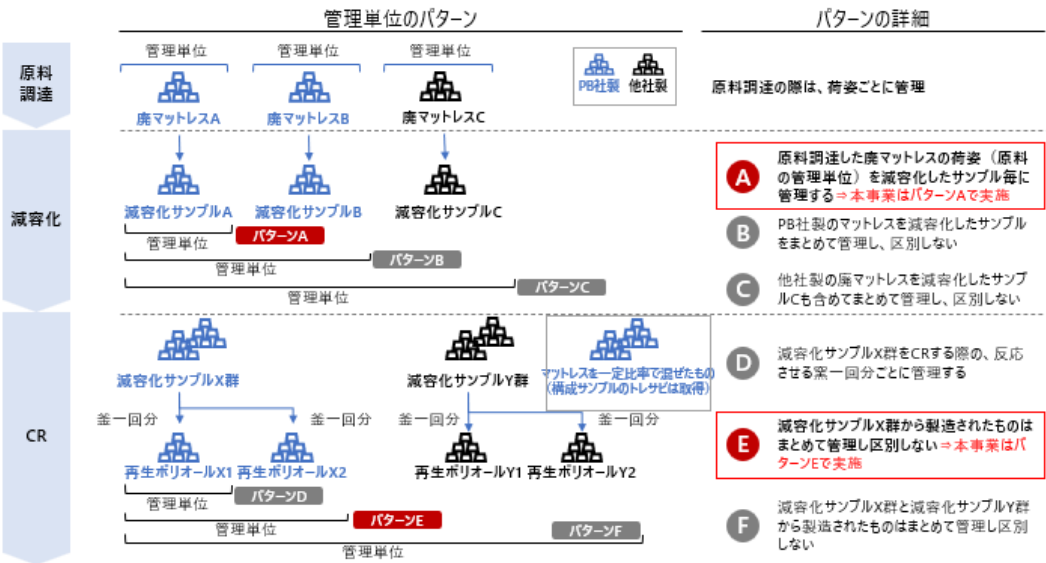


図 3 トレーサビリティの管理の粒度

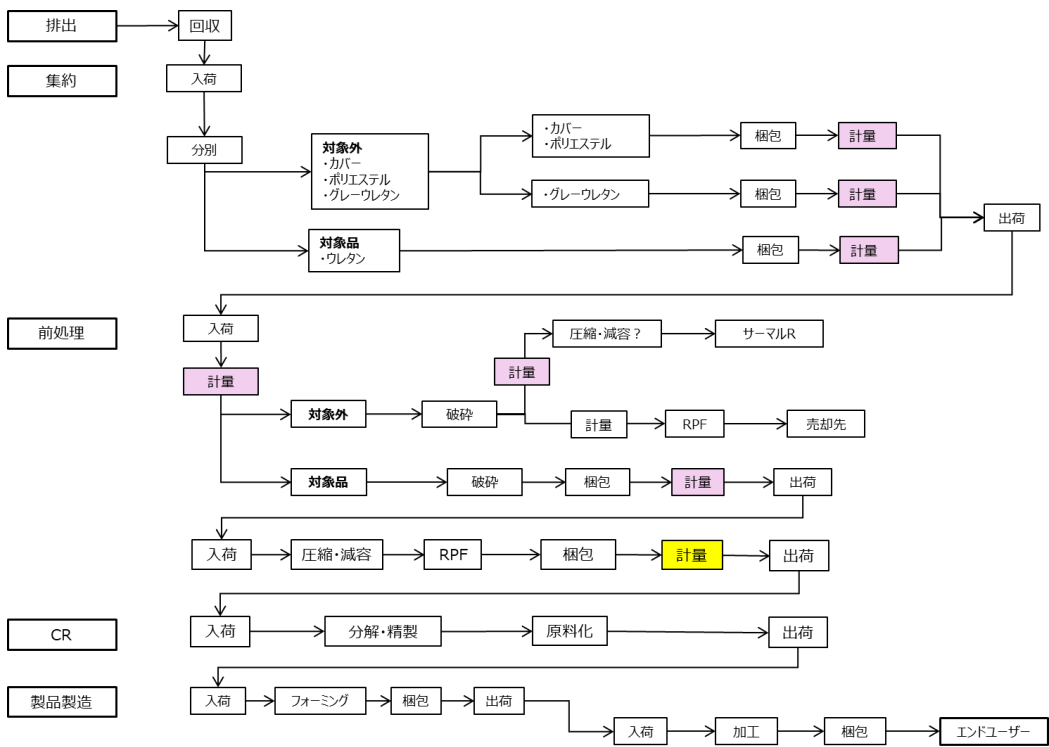


図 4 製品の回収から製造までの流れ

き検討が必要である。

具体的なトレーサビリティの項目については、原料調達、前処理（減容化）、CR、再生材を利用した製品製造、および各工程の運搬・保管において①いつ②誰が③何を④どこから⑤どのくらい所持しているか、が管理対象となる。これらの項目を把握することで、各社のそれぞれの業務実施形態に合わせたトレーサビリティが確保できると考える。

これらの項目を管理するシステムとして、三井化学製の「RePLAYER®ブロックチェーンプラットフォーム」（以下 BC プラットフォームと称す）の適用を検討している。

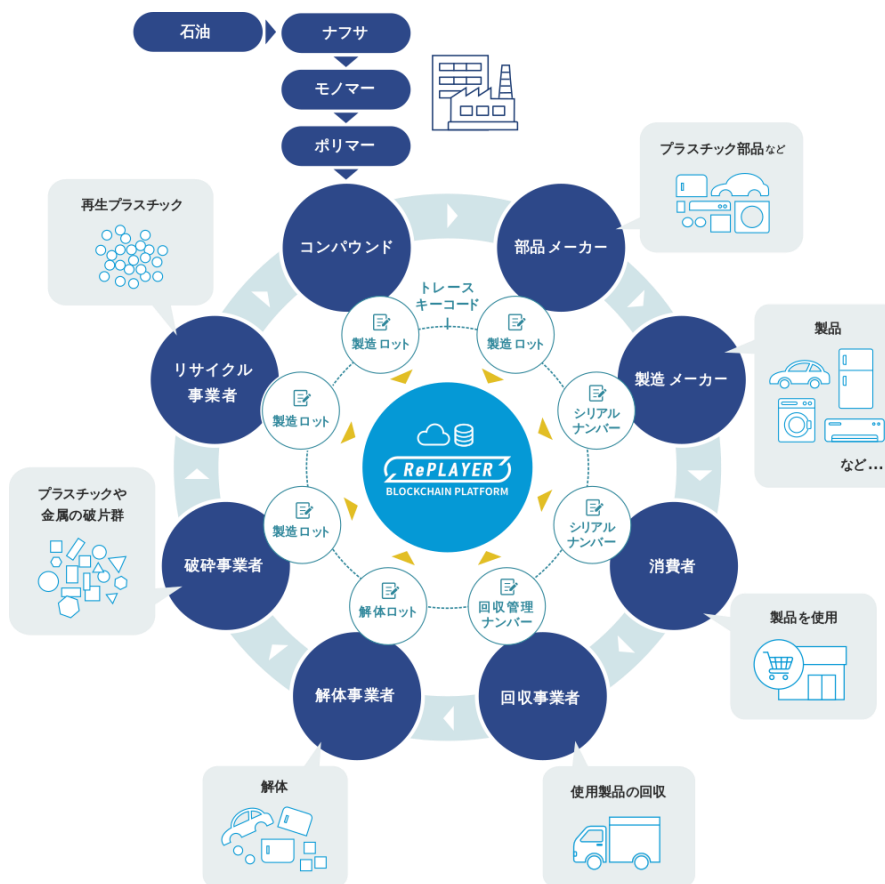


図 5 BC プラットフォームの概念図

BC プラットフォームは、循環経済の実現に向けて課題となる素材のトレーサビリティを担保するため、ブロックチェーン技術を活用した資源循環プラットフォームの構築を進め、リサイクル原料のトレーサビリティを担保・可視化し、円滑な流通を支援する仕組みづくりを目指して三井化学が開発したシステムである。本 BC プラットフォーム

の利用により、リサイクルにおいて必要とされる材料情報、物性情報、品質情報、リサイクル材比率などの各情報とサプライチェーンの各段階での製品番号、シリアル番号を紐づけて保管することで、プラスチックリサイクルのトレーサビリティを実現することが可能である。また情報保護や真正性の確保の観点からも、安心・安全な再生材の提供を可能としている。

図6、図7にはBCプラットフォームの使用イメージを示している。本BCプラットフォームでは、必要情報を可視化することで、直感的にフローを把握することが可能である。

また、エクセルファイルのひな型に製造ロット、数量、日付を記入しプラットフォームへアップロードするだけでデータの登録・紐づけが完了するため、現場作業者の工数増加をできるだけ抑えた形での運用が可能である。

ブロックチェーン上の企業は、アカウントを登録するだけで簡単に情報を追加・閲覧できる。一方、競合に当たる企業がブロックチェーン上に複数存在している場合には、部分的にアクセス制限をかけることで情報漏洩や独禁法違反などに対応する。

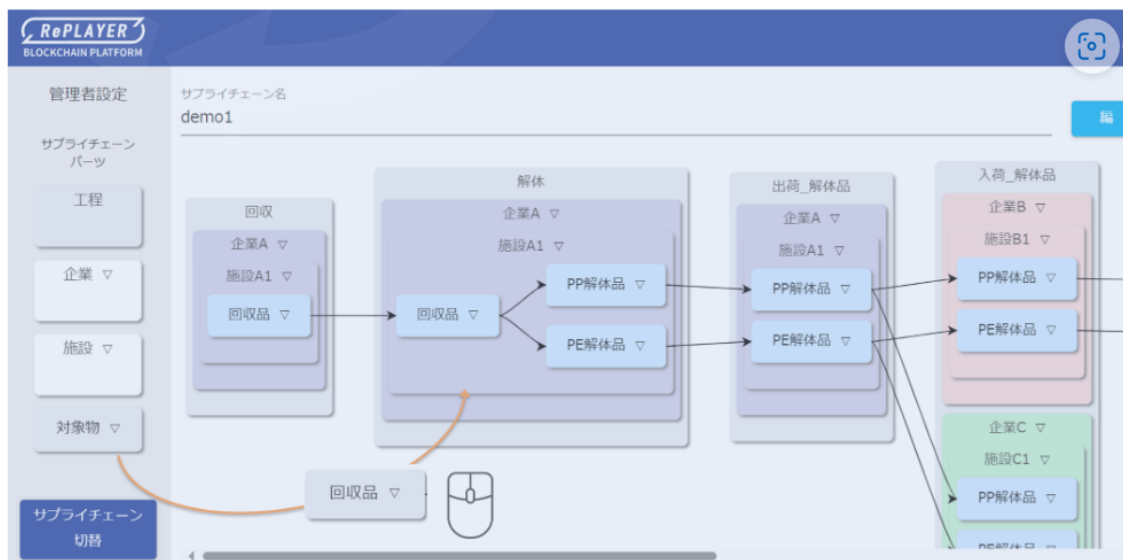


図6 BCプラットフォームの使用イメージ（1枚目）

図6において、各項目をクリックすることで、リサイクル材料名、ロットナンバー、入庫日、在庫量等、詳細を確認することができる。詳細項目はカスタマイズ可能であるため、本実証事業のようなケミカルリサイクルにより原料が原型を留めずに化学物質としてリサイクルされる事例においても、必要な情報について過不足なくトレースすることができる。

本実証事業においてはリサイクル原料である使用済ウレタンマットレス（原料調達）、前処理を施し破碎・分別・減容化された状態の廃ウレタン（前処理）、ケミカルリサイクルにより再資源化された再生ポリオール(CR)、再生品を利用した製品製造の製造日時（①いつ）、製造者・作業者（②誰が）、リサイクル工程における廃ウレタンの形態（③何を）、製造場所・保管場所・運搬状況（④どこから）、在庫量（⑤どのくらい）を把握することが可能となり、必要項目を網羅できていることを確認した。

また、図7に示すように、データをマッピングすることでブロックチェーン上の物品がどの企業のどの倉庫・事業所にどれくらいあるかといった在庫管理も可能となるため、将来的に物流上の最適化も同時に行うことが可能になると考えている。

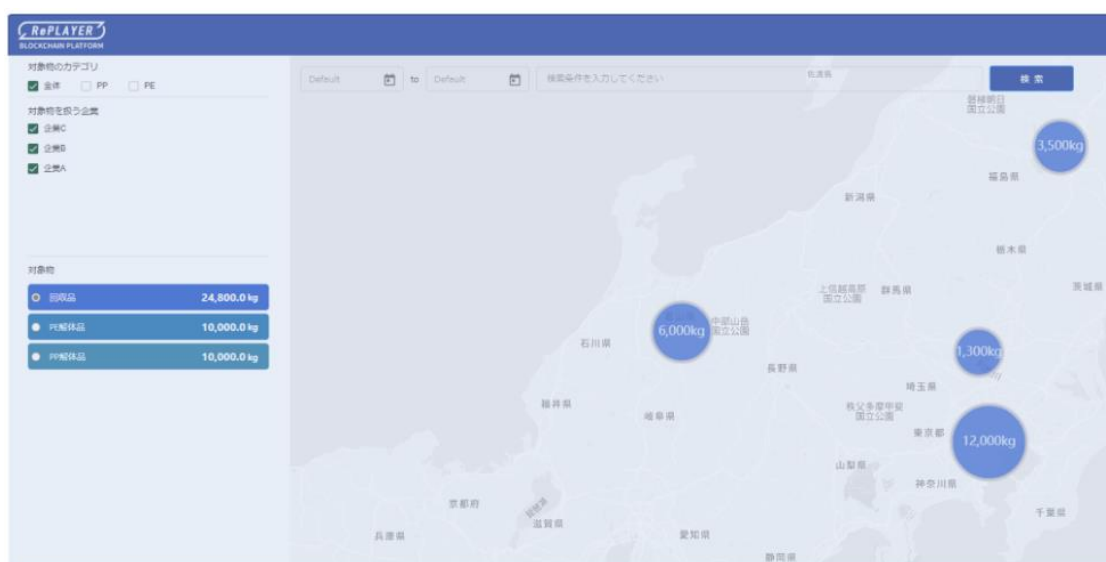


図7 BCプラットフォームの使用イメージ（2枚目）

本 BC プラットフォームを利用することにより、本実証事業で必要とされる項目を、過不足なく直感的に可視化して把握することが可能であると考えている。

現時点では物流量やブロックチェーン上の関係者が少ないため運用が比較的容易である。将来的に本実証事業の規模を拡大する際には、参画企業に丁寧に説明し利用を促すことで取りこぼしのない安定した管理運営を図っていく。

また、BC プラットフォームは先述の通りトレーサビリティの担保を目的としたシステムであるため、製品ロット単位での管理により再生ポリオールを使用したリサイクル製品の流れを見える化することが可能である。具体的には、再生材を利用した製品のロット番号および製造量をあらかじめ入力しておき、同ロットの使用済製品が廃マットレスとして回収されたタイミングで、ロットが一致する製品の数または重量などから割合を得て、回収された廃マットレスに既リサイクル材がどれくらい含まれているかを知ることができる。また、リサイクルの実装が進んだ際に、回収された製品が何回目のリサイクルであるかを把握することが可能である。しかしながら本実証において、この方法では回収された全ての廃マットレスの製品ロットを読み取る作業が必要となるため、回収工程での著しい工数増加が懸念される。自動化により工数を増やさずに読み取りを行うことは論理的には可能であるが、この場合は製造側にロットを印刷しマットレスにタグ付けする設備を、回収側に 360 度方向から読み取り可能な設備をそれぞれ導入する必要があり、経済面で不利である。本実証ではパラマウントベッド(株)の製品に限定しているが、将来リサイクルする対象を拡大することを検討する場合、日本に出回るすべてのマットレス製品に対して、回収側に導入した読み取り機で解析可能な規格でロット番号を外書きするように統一することは難易度が高いと考えられる。そのため、本方法に関する見える化については、ケミカルリサイクルの取扱量が増え、リサイクル材料を使用してウレタン製品を製造するブランドオーナーや製造業者が増えてきたタイミングで本格的な検討を開始するものとし、本実証では対象外とした。

製品ロットの検出方法として製品にタグ付けする方法については、一般的にプラスチックでの分子トレーサーは経済的に厳しいことが分かっているが、ウレタンにおいても同じ傾向である。さらに、本実証で取り組むケミカルリサイクルにおいては、工程

中に原料の化学物質であるポリオールを洗浄する工程を含むため、添加した分子トレーサーはすべて除去されてしまう。リサイクルの度に毎回新しい分子トレーサーと入れ替えることになるため、経済的にはより不利になることが推測される。

また現状では、プロダクトパスポートによるサイクル数の把握・分析等のトレーサビリティを製品の付加価値向上に活かすことは難しいと考えている。例えば、再生ポリオールを製品製造時にバージンポリオールに置換できる量には現時点では上限がある。一方で、ケミカルリサイクルはマテリアルリサイクルとは異なり、リサイクル回数が再生ポリオールの品質に影響しづらいため、リサイクルの回数が増えても、リサイクル材の劣化や性能の低下度は変化しにくい。したがって、再生ポリオールはリサイクルの回数に関わらず、再生ポリオールという 1 つの品種として管理することが経済的に好ましい。

これらの事情から、そのように繰り返しリサイクルされた再生ポリオールを使用した廃マットレスを回収した際に、管理としては「原料のうち何%は再生材由来」ということを、マスバランスとして管理せざるを得なくなる。

したがって、これら推測される工数と費用をかけてリサイクル回数を把握することは、経済性の観点から大きな効果が得られないと判断した。現時点ではリサイクル回数の把握や分析を付加価値につなげることは将来の検討項目の一つと捉えるにとどめ、本実証で積極的な適用検討の対象外とした。

また、本実証においては、パラマウントベッド（株）のマットレスを対象としたクローズドループを想定しているため、プロダクトパスポートを活用し、デジタルデータで全体に共有することは、今回の PJ の範疇外である。

2-3. 回収・分別のプロセス・ポテンシャル<令和 5 年度活動内容 参考情報のため記載>

2-3-1. 検討概要

リバー(株)にて実施する解体・破碎・選別に採用する手法、機材の選択や三井化学(株)にて行うケミカルリサイクルの実装に向けたスケールメリットの発揮には、回収可能なマットレス量の把握が必要不可欠となるため、まずはパラマウントベッド(株)の関連

事業者より回収できるマットレスの量を調査した。

調査方法としてはまず効率的に回収が可能な介護事業者（パラマウントベッド㈱と取引のあるマットレスレンタルやリース事業者等、購入量の多い企業）を対象とし、その対象事業者にウレタンリサイクルへの参画意向や現状の廃棄量、その他懸念など、アンケートを通じて意向調査を実施し、回収量の試算を行った。

2-3-2. 試算方法

パラマウントベッド㈱にてアンケート形式による意向調査の実施対象事業者の絞り込み、および回収を実施した。なおアンケートは対象実施事業者の絞り込みを行うためのものであり各アンケート項目の分析結果は割愛するが、参考までにアンケート項目を図8～図11に示す。またアンケート結果より考察される点は後述する。

① パラマウントベッド㈱のマットレス購入量が多い対象事業者の絞り込み

パラマウントベッド㈱の製品を年100枚以上購入頂いている事業者を選定し、対象となる50社を抽出した。この50社の選定事業者の選定マットA、Bの総購入量はパラマウントベッド㈱のウレタンを含むマットレス総販売数の約19%を占めている。

回収対象とする選定マットA、Bの直近3か年の販売数から年平均販売ウレタン重量を計算すると、400t/年となり、うち43%の170tが上記50の選定事業者に販売されていることとなる。回収エリアを2段階で考えると、1段階目は回収量のまとまりやすい関東圏（50社中11社）、2段階目を全国（50社）として試算を実施した。

② アンケート作成

①にて選定した50社に回収意向を回答頂くアンケートを作成した。（アンケートは次4ページをご参照）

③ アンケート回収

パラマウントベッド㈱の営業担当が選定事業者を訪問し、アンケート回収を実施した。一部未回収の企業に関しては調査情報と販売数量より試算を実施した。

【回答者様情報】

企業名	
住所	
担当者様氏名	
電話番号	
E-mail	

【設問及び回答票】

使用済みウレタンマットレスリサイクルの取り組みについて、ご回答ください。

1. 自社でレンタルしているウレタンマットレスがケミカルリサイクルされると、CO2 の排出が抑えられる可能性があることに関心はありますか？
 - 1) 関心あり
 - 2) 関心なし

2. 本事業は、弊社が認定を取得している広域認定制度を使って使用済みウレタンマットレスの回収を行います。弊社が広域認定を取得・運用していることを知っていましたか？
 - 1) 知っていた
 - 2) 知らなかった

3. 設問2で「知っていた」とご回答いただいた事業者の方への質問です。弊社の広域認定制度をご活用いただいたことはありますか？
 - 1) 広域認定を活用している（したことがある）
 - 2) 広域認定を活用したことがない

4. 設問3で「活用したことがない」とご回答いただいた事業者の方へ質問です。活用されなかった理由を以下から選択ください。
 - 1) 活用を検討中
 - 2) 具体的な仕組みが良く分からない
 - 3) 現在の処理費用と金額が合わないから
 - 4) パラマウントベッド株式会社の製品とそれ以外の分別をする必要があるのはわかるが、場所がないので難しいから
 - 5) その他

図 8 アンケート1 / 4

5. 設問4で2)、3)、4)と回答された事業者の方への質問です。条件が合えば活用したいと思いませんか？

- 1) 活用したい
- 2) 活用したくない

活用したくないと回答した事業者の方は差支えなければ理由をご教示ください

ウレタンマットレスの処理状況についてお聞かせください。

6. 現在ウレタンマットレスの廃棄はどのように行っていますか？

- 1) 事業所で通常の産廃として廃棄
- 2) 定期回収便でメンテナンスセンターなどの拠点へ集約し産廃として廃棄
- 3) その他

7. ウレタンマットレスとそれ以外の廃棄物は一緒に処理していますか？

- 1) 一緒に処理している
- 2) ウレタンマットレスとそれ以外と分けている
- 3) その他

8. ウレタンマットレスは平均して毎月何枚程度廃棄していますか？

- 1) 1枚～10枚
- 2) 11枚～20枚
- 3) 21枚～30枚
- 4) 31枚以上
- 4) で31枚以上と回答された場合のみ

差し支えなければ、平均的な廃棄枚数をご記入ください 例：50枚

枚数： _____ 枚

図 9 アンケート2／4

9. 1回あたりの廃棄量は何枚程度ですか？

- 1) 1枚～10枚
- 2) 11枚～20枚
- 3) 21枚～30枚
- 4) 31枚以上
- 4) で31枚以上と回答された場合のみ

差し支えなければ、平均的な廃棄枚数をご記入ください 例：50枚

枚数： _____ 枚

10. 毎月のウレタンマットレスの処理費用はどのくらいですか？

11. ウレタンマットレスの処理費用の単位は何を基準にしていますか？

- 1) kg (キログラム)
- 2) 立米 (リュウベイ) = m^3
- 3) 枚

12. 廃棄品の保管と廃棄の荷役はどのようにされていますか？

- 1) かご台車に乗せて保管し、回収車両に手積みで積替え
- 2) 平積みで保管しておき、1枚1枚回収車両に手積み
- 3) コンテナに都度入れて保管しておき、回収車両が積んできたコンテナと入れ替え
- 4) その他

13. 回収車両サイズと種類はどのようなタイプのものですか？

- 1) 2tまたは4tのゲート付きの箱車
- 2) コンテナ車 (コンテナを引っかけて車両に乗せる)
- 3) その他

図 10 アンケート 3 / 4

14. 自社の使用済みウレタンマットレスの処理に、本事業を活用しても良いと思われますか？

- 1) 活用しても良い
- 2) 活用したくない

15. 本事業や弊社の広域認定についてご意見がありましたらお聞かせください。

図 11 アンケート 4 / 4

2-3-3. 試算結果

選定事業者への流通量年 170t の内、回収可能量はパラマウントベッド(株)のグループ会社であるパラマウントケアサービス(株)（以下 PCS）を含めて関東圏で 6.8t/年。全国で 22t/年。また、選定マット A,B に限らず広域認定で回収可能なパラマウントベッド(株)のウレタンを含む全マットレスを対象とすると関東圏で 9.7t/年、全国で 31.7t/年と試算。

表 1 パラマウントベッド社製ウレタンマットレスの流通量

項目	選定マット A,B		PB全体ウレタンマット全体	
	関東	全国	関東	全国
回収見込ウレタン重量	6.8(t/年)	22.0(t/年)	9.7(t/年)	31.7(t/年)

また、実際に回収するにあたり、アンケートより懸念される点として下記のような声を得たので今後の課題とする。

- 現状、処理費用については、他の産廃と一緒に請求されているので、広域認定を採用した場合に既存の費用と広域認定の費用とで価格が異なる可能性が懸念される
⇒既存の処理価格と広域認定の価格にどのくらい差が生じるかを確認し、広域認定の価格を再設定する必要があるかを今後検討する。
- 対象マットレスの状態に関して、汚れや臭いがどこまで許容できるのかがわから

ない点（衛生面が不安）

⇒これまでの広域認定の運用では問題のある状態のものはほぼないが、引き取りできる限度基準の明示を今後検討する。

- パラマウントベッド社製品と他社製品を分ける作業とスペースの確保が難しい点
（広域認定未採用の取引先より）具体的な運用方法がわからない点

⇒改めて個別に広域認定の運用について説明を行い、回収頻度や積載効率を都度相談しながら条件を決めて行く。

3. 解体・粉砕・選別の最適化検討

3-1. 検討の全体像

令和5年度活動では、解体・破砕・選別の最適化検討として、対象製品を「選定のマット A」、「選定マット B」の2種類とした。

当該2種類のマットレスは、それぞれ7種類（重複を含めれば全9種）のウレタンフォーム及びポリエステル綿の組み合わせで構成され、ポリエステル製のカバーで覆われている。

しかし、本事業におけるケミカルリサイクル技術の検証においてはウレタンフォーム部分のみを用いるため、ポリエステル綿及びカバーはケミカルリサイクルの前工程で分離し、取り除く必要がある。

そこで、リバー(株)監修の下、手作業での①解体テスト、破砕機を使用した②破砕テスト、光学選別機を使用しウレタンフォームとポリエステル綿を選別するための③光学選別テスト、輸送効率の向上や粉じん爆発予防の為に成型機を使用した④減容化（固化）テストの計4つのテストを実施した。

当該項目における令和6年度活動として、大規模破砕・固化テスト及び、他業務と破砕機を共用した場合の異物混入について確認した。

なお、令和5年度活動内容について、参考情報となるためそのまま記載した。

3-2. マットレス解体手法の検討<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>

3-2-1. 検討概要

本検討ではウレタンマットレスの構造（特にウレタン以外の素材の量や使われ方）や使用済みウレタンマットレス特有の性質等を把握するため、手解体（精緻解体）を実施した。同時に作業効率向上のため、解体器具の選定も行った。

3-2-2. 検討方法

ウレタンマットレス解体テストは2回実施した。1回目のテストは主に構造の把握と解体器具の選定を目的とし、作業員2名で4種類の異なるウレタンマットレスを解体した。2回目のテストでは1回目のテスト結果を基に、40枚のウレタンマットレスを用いて、より効率的な解体方法の検証を行った。テスト詳細は次々ページ以降に記載する。



図 12 サンプル写真

解体テスト1回目

- 日時：2023/08/18
- 場所：リバー株式会社 船橋事業所
- 目的：ウレタンマットレスの構造把握と解体器具の選定

- 解体手法：手解体（作業員 2 名）

1 回目の解体テストではパラマウント社製ウレタンマットレス 4 枚＜表 3 参照＞を対象とし、その構造を把握すると共に、「使用済み」品が解体テストに与える影響の有無についても確認した。

表 2 解体に使用した器具とその使用感

使用機具	写真	分割時間（秒）	所感
カッター		20	軽い力で簡単にカットできた。しかしすぐに切れ味が悪くなり刃をスライドさせる力が必要になってくる。またベットマットレスをカットするにはより大型のものが必要である。
ノコギリ		80	ノコギリの刃がフォームに引っ掛かり、強い力が必要。また、切りカスが大量に発生し、ウレタンベットマットレスのカットには適していない。
ウレタンカッター		35	刃が滑り、進んでいかない印象。ウレタンベットマットレスのカットには適していない。
ホットナイフ		45	電気を使用して高温になった刃によって対象を溶かしながらカットする器具。高温により溶けたウレタンフォームよりガスが発生してしまうためウレタンベットマットレスのカットには適していない。
ケーキナイフ		20	ケーキやパンをカットするのに使用する波型の刃がついたナイフ。カッター同様に軽く切る事ができ、また長時間の使用にも耐えたことからウレタンベットマットレスのカットには適していると思われる。

表 3 ウレタンマットレス 4 種の解体所感

製品	説明
候補②	ウレタンフォーム層とポリエステル層をマジックテープで止めている。ポリエステル層の分離は容易だが、マジックテープは接着剤で接着されており、分離が困難であった。
候補④ ⇒選定マットB	両面で異なる固さのウレタンフォームを使用しており、使用するウレタンフォームの種類も多いが、構造自体はシンプルである。 ウレタンフォームを固定するために使用されている接着剤の量は限定的であり比較的容易に解体が可能となっている
候補⑤	立体的な構造となっておりテスト対象の4種中、一番複雑な構造となっていた。接着剤の使用箇所も多く手解体は困難であった。立体的な構造のため機械による解体も難しいと思われる。
候補⑥	両面で異なる固さのウレタンフォームを使用しているが、ウレタンフォームの種類は多くない。しかし、ウレタンフォームとポリエステルが全面接着剤で接着しており手解体は困難であった。

その他 4 種の解体を通じてわかった点として以下が挙げられる。

⇒パラマウントベット社製ウレタンマットレスは4種とも床ずれ防止・体圧分散の機能を有した多層構造となっている。

⇒マットレスは柔らかく不安定なため、一人での作業は困難であり、構造の観点から、手解体が困難なものが存在する。

⇒使用済みであるが故の外見上の特徴、特に凹み等は認められなかったが、汗、皮脂等の「臭い」はあったが作業上問題となるほどではない。

解体に要した時間と歩留まり率について表 4 に記載する。

表 4 ウレタンマットレス 4 種の解体時間及び歩留まり率

製品	重量 (kg)	ウレタン重量(kg)	歩留まり (%)	所要時間	所感
候補②	6.5	0.9	14%	0:03:43	マジックテープで接着されており、ウレタン・ポリエステルの分離は容易。しかし、歩留まりは低い(14%)。
候補④ ⇒選定マットB	10.0	5.6	56%	0:06:30	ベッドマットレスの構造がシンプルであり、また接着剤の使用が少なく、手解体は容易。歩留まりも良好(56%)
候補⑤	8.0	2.0	25%	-	構成が複雑であり、手解体は困難であった。機械化も困難と思われる。
候補⑥	8.0	0.0	-	0:00:57	全て接着剤で接着されており、手解体は困難であった。しかし、構造はシンプルなため、機械化が望まれる。

解体テスト 2 回目

日時：2023/08/23

- ・ 場所：リバー株式会社 船橋事業所
- ・ 目的：1 回目は主に構造の把握と解体器具の選定、2 回目は 1 回目の結果を基に、より効率的な解体方法の検証
- ・ 解体手法：手解体（作業員 6 名）

ウレタンマットレスを 4 枚 1 セットとし、セットごとにカバーを除去、ウレタン・ポリエステルの分離、圧縮を行い、その所要時間を計測した。計測数値は表 6 に記載する。

表 5 ウレタンマットレス解体テストの工程別所感

	所感
カバー除去	カバーはファスナーが付いており、脱着が容易な構造となっているが、ベットマットレス自体が大きく、また柔らかく不安定であることから、2人以上の作業員必須である。 カバーをナイフで切り取る方法も検討したが、ファスナーを外す方が効率的であった。
分割	ウレタンベットマットレスは縦約2m横約1mとそのままの状態だとサイズも大きく、重量もあり柔らかく不安定なため、1人で持ち運ぶことは困難である。そこで、後工程の効率も考慮し5分割にカットした。 カッター状の鋭利な物ならば容易にカット可能であった。
ウレタン・ポリエステル除去	平均すると、作業時間は2人で5分程度。しかし、ウレタンベットマットレスの種類によっては強力に接着されており手作業での分離は現実的ではない。 破砕機による破砕等の機械化が必須である。
圧縮	輸送効率を高めるために圧縮を行った。方法は市販の布団圧縮袋を使用した。1/3程に圧縮可能（ウレタンのみならば1/5程まで圧縮可能）の為、効果は認められる。しかし、作業時間、コスト等、検討が必要である。

表 6 ウレタンマットレス別解体所要時間

			重量(kg)				時間(秒)			
		枚数	中身重量	カバー重量	ウレタン重量	歩留り(%)	カバー除去	5分割にカット	ウレタン除去	圧縮時間
ウレタン + ポリエステル (カバーのみ除 去)	① 圧縮	4	31	3	-	91%	100	120	-	120
	② 圧縮無し	4	23	4	-	85%	95	100	-	-
	③ 圧縮無し	4	26	3	-	90%	90	110	-	-
	④ 圧縮無し	4	26	3	-	90%	90	140	-	-
	⑤ 圧縮無し	4	26	4	-	87%	110	130	-	-
合計(平均)			132	17	-	89%	97	120	-	120
ウレタンのみ (カバー、ポリは 除去)	④ 圧縮	4	25	3	13	46%	90	110	1,215	120
	⑤ 圧縮無し	4	20	4	11	46%	85	175	1,374	-
	⑥ 圧縮無し	4	24	4	15	54%	83	120	1,042	-
	⑦ 圧縮無し	4	25	4	19	66%	100	110	1,150	-
	⑧ 圧縮無し	4	29	3	15	47%	95	150	1,200	-
合計(平均)			123	18	73	52%	91	133	1,210	120

3-3. ウレタン破砕手法の検討<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>

3-3-1. 検討概要

ウレタンマットレスは製品の状態では約2m×1mとサイズが大きく、そのままでの取り扱いは困難である。そこで、次の行程である光学選別の作業性も考慮し、100mm角程度の小片に破砕する方法を検討した。

3-3-2. 検討手法

リバー(株)監修のもと、富士車輛(株)製一軸破砕機を使用し、ウレタンマットレスの破砕テストを行った。

カバーを外した状態のウレタンマットレスを破砕機に投入し、ウレタンフォーム、ポリエステル共に問題なく破砕できることを確認した。

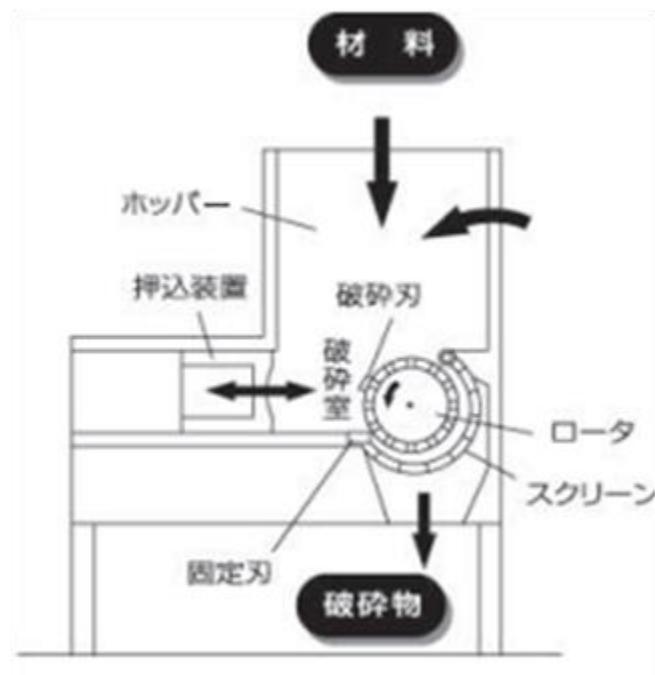


図 13 富士車輛(株)製 一軸破砕機（フジマルチカッタ）構造図

表 7 富士車輛(株)製 一軸破砕機（フジマルチカッタ）詳細

メーカー	富士車輛(株)
型式	FMC/50/150
ローター径	500mm
ローター幅	1500mm
刃物サイズ	60mm
刃物个数	25個
電動機	110kw
回転数	44rpm
電源	400V 60Hz
スクリーン穴サイズ	100mm



図 14 参考写真：破碎前のウレタンマットレス



図 15 参考写真：破碎後のウレタンマットレス

3-4. ウレタン選別テスト<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>

3-4-1. テスト概要

テストで使用したウレタンマットレスはポリウレタン及びポリエステルの2種類の素材が使用されていることから、光学選別機を使用した選別可否のテストを行った。また、同じポリウレタンでも黄色とグレーといった素材の色の違いでの選別可否も確認した。

3-4-2. テストプロセス

- 日時：2023/11/20~21
- 場所：富士車輛株式会社 守山テストセンター
- 篩機及びTOMRA社（ノルウェー）製光学選別機を使用し、表8の条件下にて各①～⑤のテストを実施した。

表 8 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
選別条件と結果

検証	条件 (材料：ウレタンベッドの破砕品)	回収純度 (%)	回収重量 (%)
テスト①	1. 篩機は使用せず 2. 感度「通常」に設定した光学選別機に投入 3. グレーのウレタン及びポリエステル除去の設定で2回選別	99.5%	32.1%
テスト②	1. 篩機は使用せず 2. 感度「高感度」に設定した光学選別機に投入 3. ポリエステル除去の設定で2回選別	98.4%	60.2%
テスト③	1. 篩機を使用し13mm以下の細かいウレタンフォームを除去 2. 感度「最適化」に設定した光学選別機に投入 3. グレーのウレタン及びポリエステル除去の設定で2回選別	97.7%	47.2%
テスト④	1. 篩機を使用し13mm以下の細かいウレタンフォームを除去 2. 感度「最適化」に設定した光学選別機に投入 3. ポリエステル除去の設定で1回選別 4. グレーのウレタン除去の設定で1回選別	98.9%	58.6%
テスト⑤	1. 篩機を使用し13mm以下の細かいウレタンフォームを除去 2. 感度「最適化」に設定した光学選別機に投入 3. グレーのウレタン除去の設定で1回選別 4. ポリエステル除去の設定で1回選別	98.8%	47.2%

篩機詳細

テスト機 : フリップフロースクリーン
型式 : SVEO 600 × 2700
大きさ : 幅1.2 × 長3.6 × 高2.5m
動力 : 2.5kW
重量 : 約1,400kg



JOST社製フリップフロースクリーン
※スクリーンにウレタンシートを使用しており、振動によりスクリーンの目が伸縮するため目詰まりが起きにくい。

図 16 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
使用機器詳細①

光学選別機詳細

破碎機型式 : オートソート5

動力 : 3.0kW

センサー : 近赤外線(NIR1、NIR2)、可視光(VIS)、

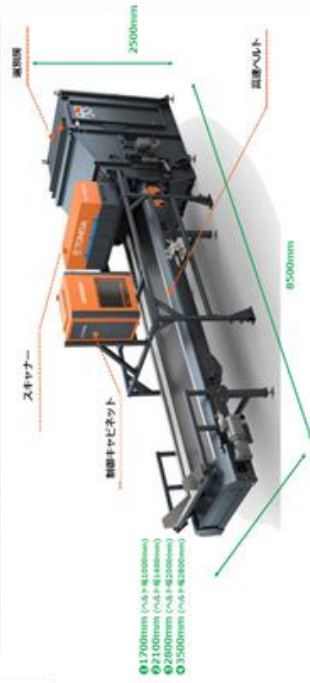
ベルト幅 : 1200mm

ノズルピッチ : 6.25mm

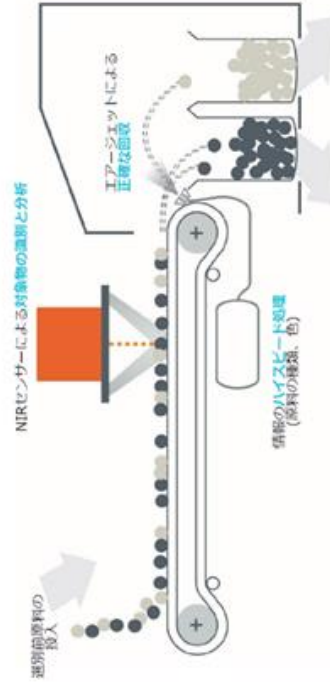
重量 : 3.550kg

対象サイズ : 10mm ~

AUTOSORT外観



AUTOSORT選別原理



TOMRA社製光学選別機

図 17 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト (引用元: 富士車輛(株)説明資料より抜粋)
使用機器詳細②

テスト①の選別時の重量、回収率を記載

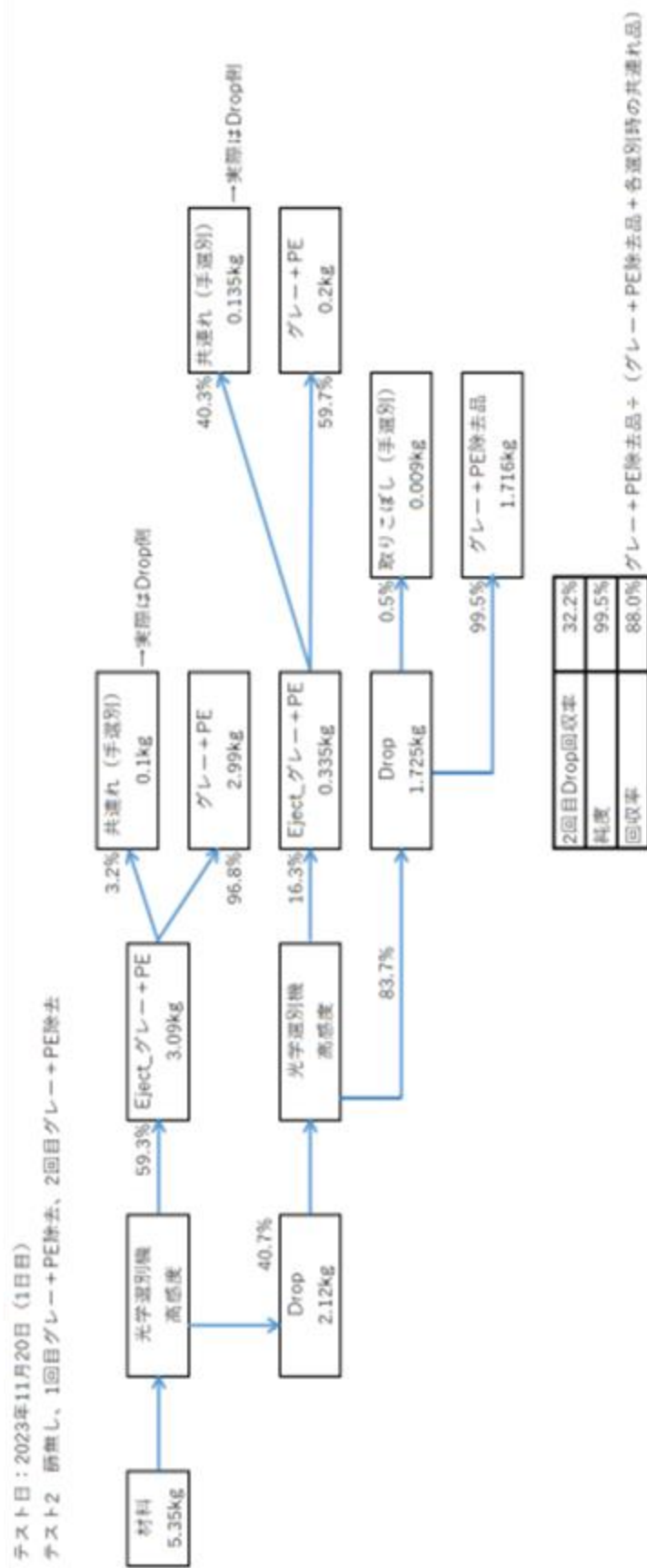


図 18 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
 テスト①フロー詳細

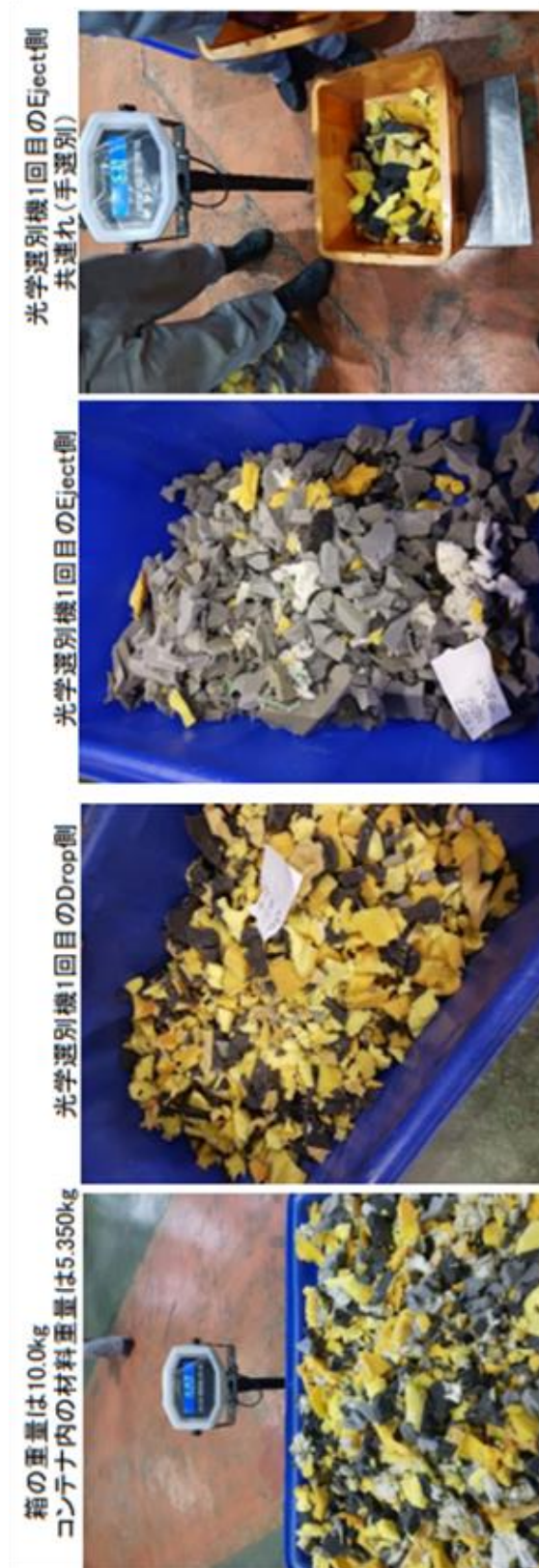


図 19 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト①参考写真



図 20 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト①参考写真

テスト②の選別時の重量、回収率を記載

テスト日：2023年11月20日（1日目）

テスト1 篩無し、1回目PE除去、2回目PE除去

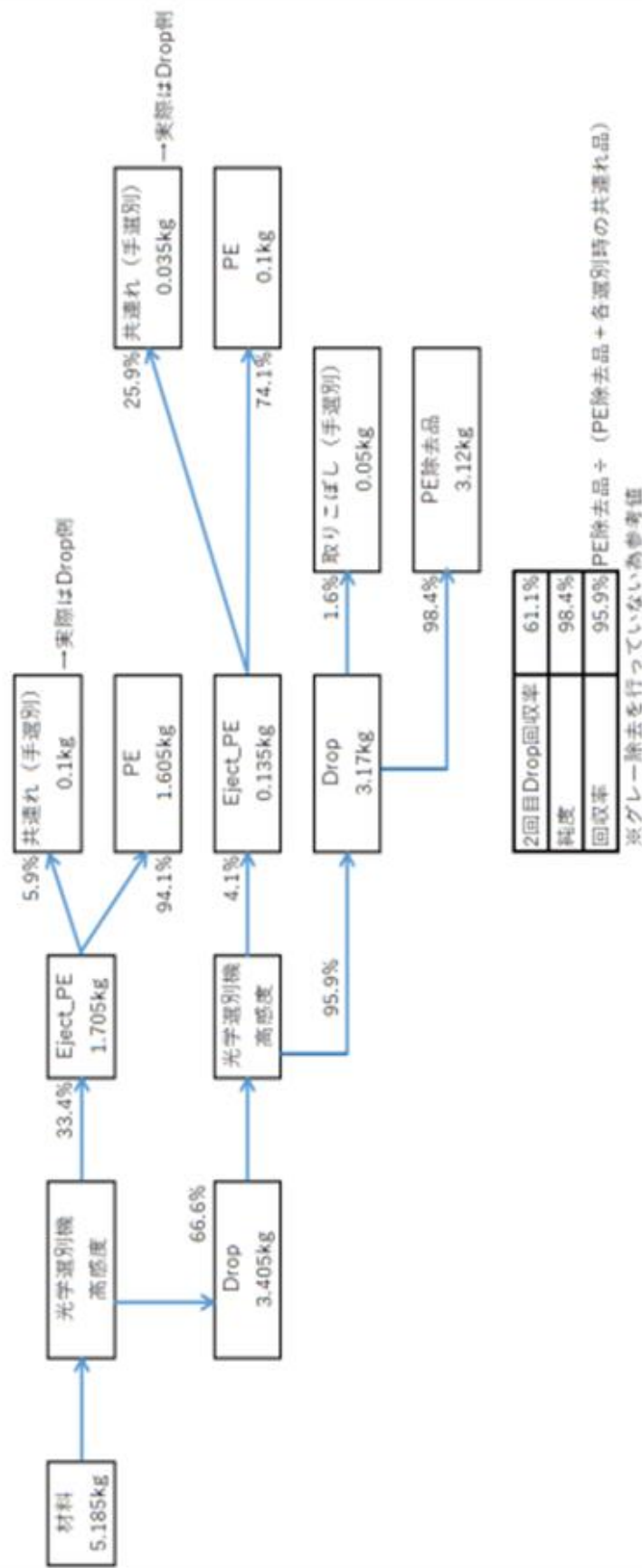


図 21 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト②フロー詳細

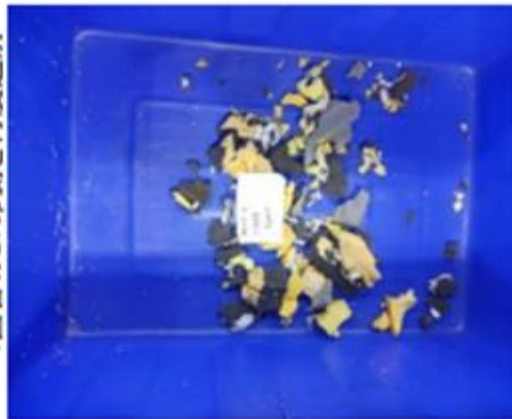


図 22 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト②参考写真

光学選別機2回目Drop側
1回目Drop側を再度選別



光学選別機2回目Eject側
1回目Drop側を再度選別



光学選別機2回目Drop側
取りこぼし(手選別)



光学選別機2回目Eject側
共連れ(手選別)



図 23 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト②参考写真

テスト③の選別時の重量、回収率を記載

テスト日：2023年11月22日（2日目）

テスト3 篩あり、1回目グレー+PE除去、2回目グレー+PE除去（感度調整済）

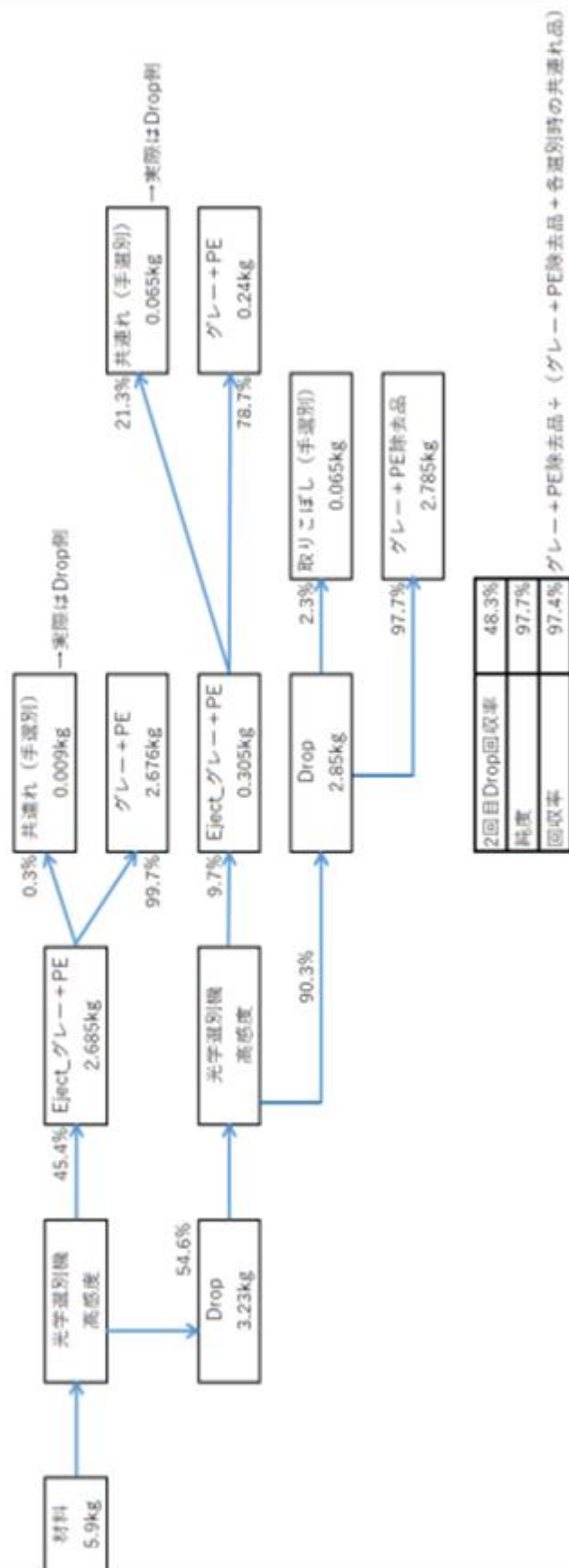


図 24 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト③フロー詳細

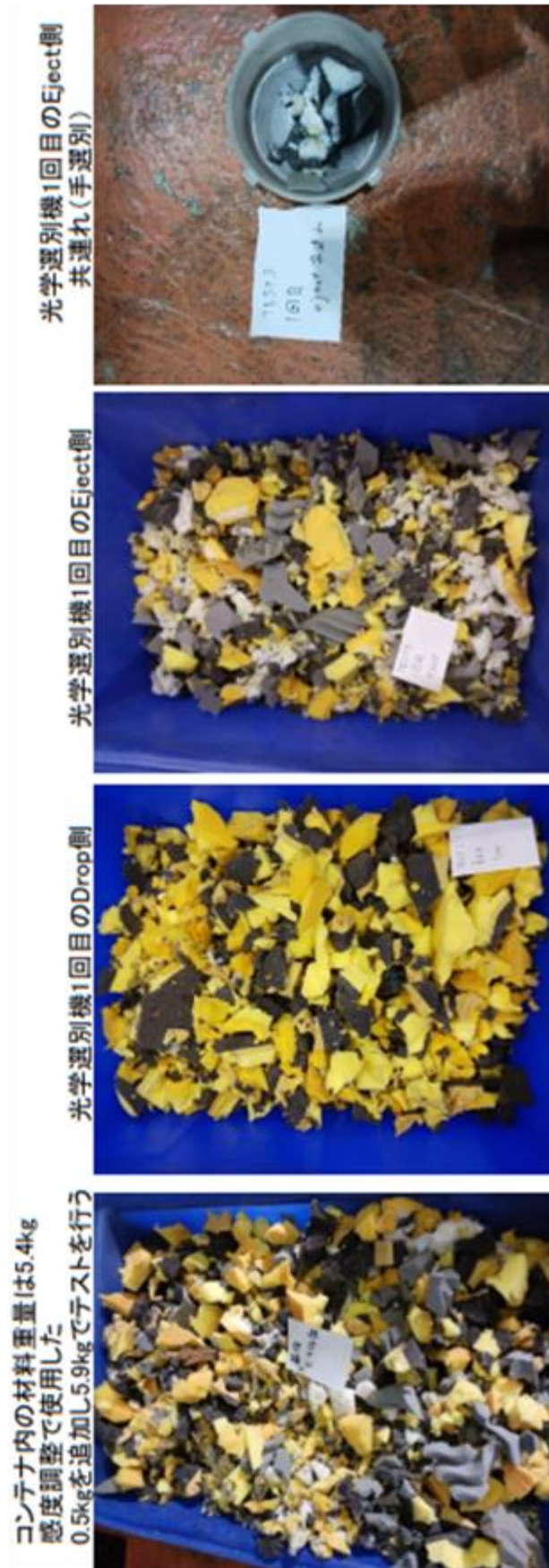


図 25 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト③参考写真

光学選別機2回目Drop側
1回目のDrop側を再度選別



光学選別機2回目Eject側
1回目のDrop側を再度選別



光学選別機2回目Drop側
取りこぼし(手選別)



光学選別機2回目Eject側
共連れ(手選別)



図 26 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト③参考写真

テスト④の選別時の重量、回収率を記載

テスト日：2023年11月21日（2日目）
テスト4 篩あり、1回目PE除去、2回目グレー除去

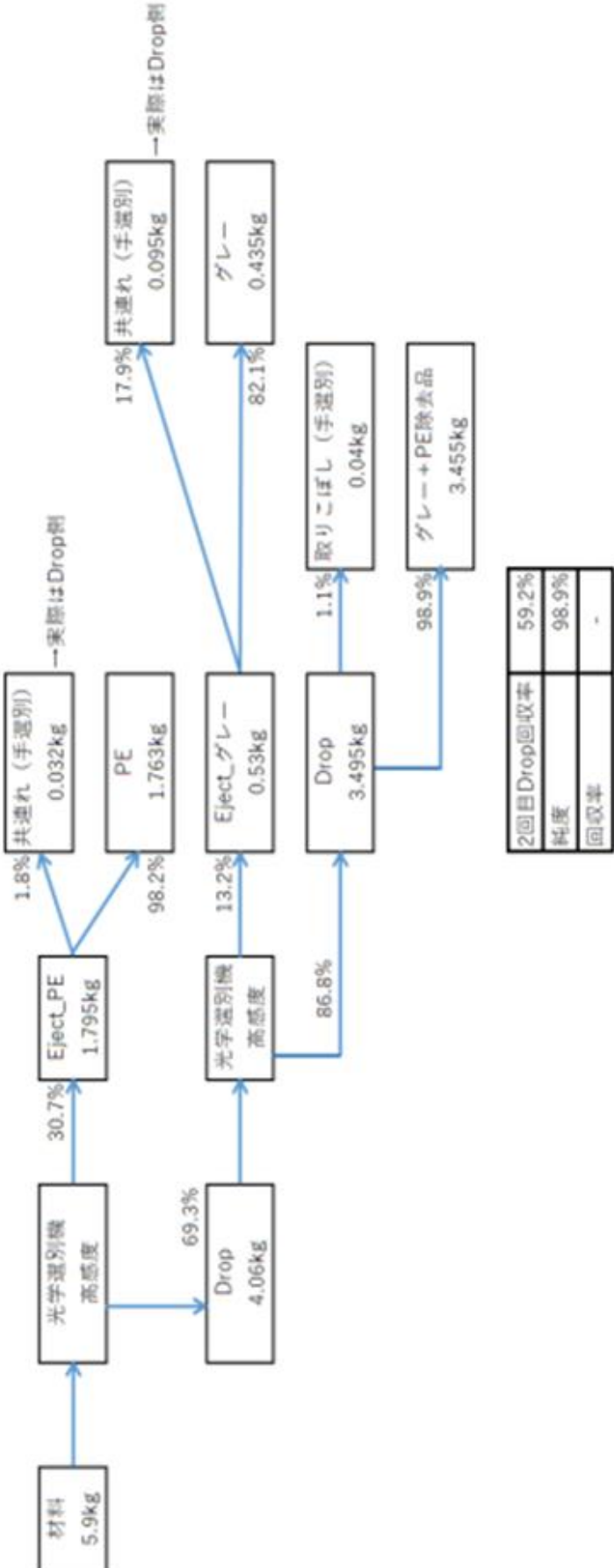


図 27 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト④フロー詳細



図 28 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト④参考写真

光学選別機2回目Drop側
1回目Drop側を再度選別



光学選別機2回目Eject側
1回目Drop側を再度選別



光学選別機2回目Drop側
取りこぼし(手選別)



光学選別機2回目Eject側
共連れ(手選別)



図 29 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト④参考写真

テスト⑤の選別時の重量、回収率を記載

テスト日：2023年11月22日（2日目）

テスト3 篩あり、1回目グレー+PE除去、2回目グレー+PE除去（感度調整済）

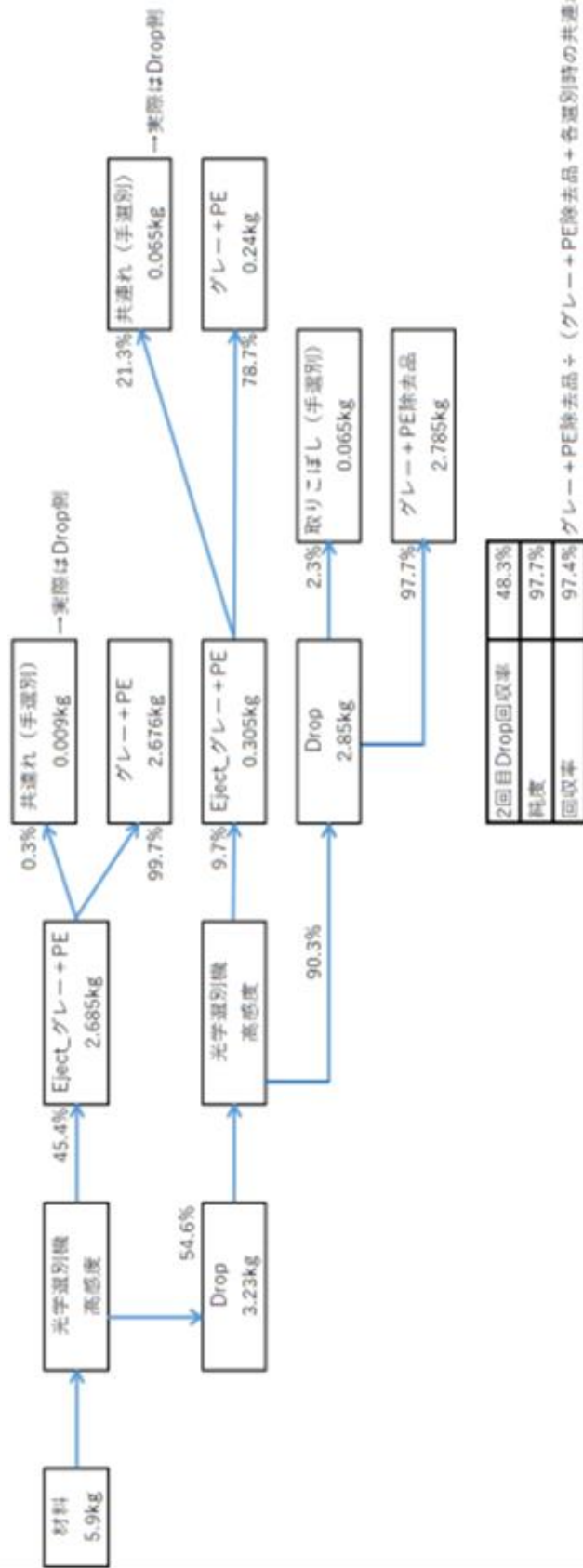


図 30 ウレタンフォームの光学選別による選別テスト
テスト⑤フロー詳細



図 31 ウレタソフオームの光学選別による選別テスト
テスト⑤参考写真

3-5. 減容化テスト<令和5年度活動内容 参考情報のため記載>

3-5-1. テスト概要

破碎・選別されたウレタンフォームをそのままの状態で輸送するのは嵩比重が低く効率が悪い。そこで成型機を使用し破碎・選別したウレタンフォームの固化を検討した。

一般的にウレタンのみでは固まらなるとされているため、複数の条件でテストし、最適な条件を検証した。

3-5-2. テストプロセス

検討においては、に表9記載の通り計8回のテストを実施した。使用機器の詳細及びテスト詳細は次ページ以降に記載する。

表 9 減容化検討条件

検証	条件
テスト①・②	ウレタン単体を単純投入
テスト③	ウレタンフォームの色による違いを確認するため黄、黒、灰のみを投入
テスト④	ウレタンフォームの色による違いを確認するため青、茶のみを投入
テスト⑤	ウレタンフォームの色による違いを確認するため黄、青のみを投入
テスト⑥・⑦	ウレタン、ポリエステル混合投入 テスト⑥ポリエステルの割合少なめ、テスト⑦はポリエステルの割合多め
テスト⑧	ヒーターの温度及び、投入してから固まるまでの時間を確認

RPFステーション

テスト機 : RPFステーション
破砕機型式 : FMC37/100
スクリーニング法 : $\phi 40\text{mm}$
駆動動力 : 55kW

成形機形式 SR-45
ノズル寸法/個数 : $\phi 35 \times 100\text{L}/20\text{個}$
駆動動力 : 45kW

右図：一軸破砕機に投入したウレタン
右の破砕品をRPFステーションに投入する

一軸破砕機（フジマルチカッター

型式 : FMC/50/150
ローター径 : 500mm
ローター幅 : 1500mm
刃物サイズ : $\square 60\text{mm}$
刃物個数 : 25個
電動機 : 110kW
回転数 : 44rpm
電源 : 400V 60Hz
スクリーニング穴サイズ : $\square 100\text{mm}$



図 32 ウレタンフォームの減容・固化テスト
使用機器詳細及び投入ウレタンの参考写真

テスト①、②
材料
ポリウレタン単体
投入開始時
ダイス温度:29度
(ヒータオフ)

◎減容化テストの初めに投入したのについて、当ウレタン減容化テストの事前テストで使用した材料がPPFステーション内に残留していた
そのため投入した材料が排出されなかった。一度ダイスプレートを開き、内部の残留物を取り除いたうえで再度テストを行った。
残留物は固化しており、弾力があった。

改めて材料を投入し、テストを行った。
ダイス温度は83度～91度に上昇していた。
14時50分に再投入、再投入から5分後に図形化したウレタンが排出された。

排出ノズルの様子



図形化したものも排出されたものの、大半が粉状だった。
テスト①の減比重0.16 テスト②の減比重0.35



左図:残留物



図 33 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト①・②詳細及び参考写真



図 34 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト③詳細及び参考写真

テスト④ 材料 ポリウレタン単体 投入開始時 ダイス温度: 80～89度 (ヒータオフ)	④は材質(色)による違いを確かめるべく、手選別した青色を含んだ混合色(青色、茶色メイン)のウレタンを投入した。
	投入したウレタン  排出された固形物  排出時の固形物の長さがテスト③に比べて長くなったためテスト④以降はカッターで切断をしている。右図はテスト③と④の比較。投入したウレタンの色で排出された固形物の色も変化した。 

図 35 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト④詳細及び参考写真

テスト⑤
材料
ポリウレタン単体
投入開始時
ダイス温度: 80~89度
(ヒータオフ)

⑤は残りの黄色と青色の混合色のウレタンを投入した。

投入したウレタン

排出された固形物 しっかりとした固形物で固かった。
粉状のものはほぼ排出されなかった。 表面温度: 130度 内部温度: 180~200度 嵩密度: 0.45



◎上記のテスト③~⑤から色による違いは判別できなかった。
時間経過による固形化の可能性があるので、10/11の観察会時に電流値、運転時間等を含め確認する。
事前テストでは破砕前の嵩比重が**0.035**、破砕後が0.018、RPFステーション投入後の嵩比重が最大0.28だったことから
テスト⑤では**0.45**とさらに減容化できた。

図 36 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑤詳細及び参考写真

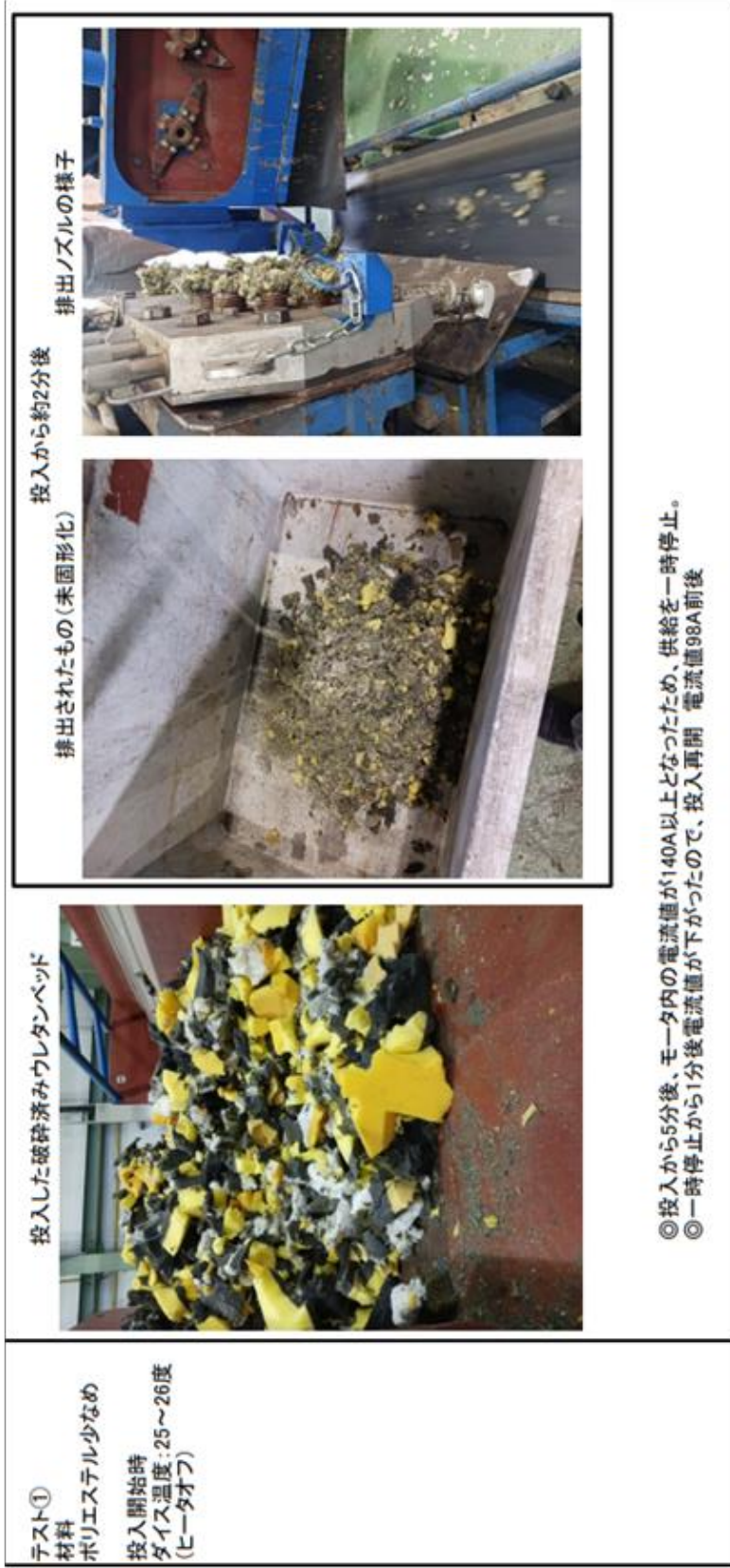


図 37 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑥詳細及び参考写真

ノズルの様子 2~3個のノズルからのみ排出



投入再開から30秒後、排出開始
排出された固形化物



表面温度:80度 内部温度:178度 嵩密度:0.39



◎固形化した、前日にできた固形物に比べ脆い印象を受けた。

図 38 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑥詳細及び参考写真

テスト②

材料
ポリエステル多め

投入開始時
ダイス温度: 75～97度
(ヒータオフ)

投入した破砕品



投入後のノズルの様子 ほぼ全ノズルから排出



図 39 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑦の詳細及び参考写真

排出された固形化物(投入開始後数分で排出されたもの)



図 40 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テストの詳細及び参考写真



図 41 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑦の詳細及び参考写真

投入から約3分後の排出物、排出量
投入物が細かくなって排出、固形化せず。



投入から約4分後、排出が詰まってくる。



投入から約6分後の排出物、排出量



図 42 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑧詳細及び参考写真

◎排出が止まったところでパレル内の確認を行う。



左図
パレル内でウレタンが溶融、固まっていた。
テストを中断し、清掃作業を行う。



◎排出が止まった時点で電力値は最大53kW、2分間平均43kW(定格45kW)継続した。

下図:排出が止まった時点でのヒータ温度



図 43 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑧詳細及び参考写真

テスト: 清掃後 材料 ポリエステルのみ 投入開始時 ダイス温度: 83～86度 ヒータ80度設定(予熱) 投入開始時刻: 15:02	◎清掃後、ウレタンを投入。投入から約10分は上記清掃前の排出物と近いものが排出された。 ◎投入から約12分後、粉状のものが多く排出されるようになり、その約3分後(投入から約15分後)固形化物が排出された。 投入から約12分後の排出されたもの  投入から約15分後に排出された固形化物  投入から19分後の固形化物。より形がよくなった。  投入から21分後の固形化物。以後このようなものが排出された。 
--	--

図 44 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑧詳細及び参考写真

◎投入から15分後で固形化した。その時点から回収箱を交換するまでの処理能力を計算する。	
箱① 箱設置時間6分(固形化してから箱を交換するまでの時間となります。)	
電流値 : 65A	ヒータ温度 : 90度～110度
排出量 : 6.350kg	固形物表面温度:110度
処理能力: 63.5kg/h	固形物内部温度:160度
◎回収箱に排出物が十分溜まったため、箱を交換する。安定して排出されたため、画像等は省略する。	
箱② 箱設置時間:8分	
電流値 : 75A～80A	ヒータ温度 : 100度～120度
排出量 : 14.760kg	固形物表面温度:120度
処理能力:110.7kg/h	固形物内部温度:170度
◎回収箱に排出物が十分溜まったため、箱を交換する。安定して排出されたため、画像等は省略する。 使用電力量、有効電力量、処理能力あたりの有効電力量は以下となる。	
箱③ 箱設置時間:7分	
電流値 : 75A～80A	ヒータ温度 : 110度～130度
排出量 : 15.470kg	固形物表面温度:120度
処理能力:132.6kg/h	固形物内部温度:170度
◎回収箱に排出物が十分溜まったため、箱を交換する。安定して排出されたため、画像等は省略する。	
箱④ 箱設置時間:5分	
電流値 : 75A～80A	ヒータ温度 : 110度～130度
排出量 : 12.085kg	固形物表面温度:120度
処理能力:145.0kg/h	固形物内部温度:170度
◎箱①～④までの排出量と処理能力は以下となる。	
回収時間:26分	
排出量 : 48.665kg	
処理能力:112.3kg/h	
◎処理能力が安定後の箱③～④までの排出量と処理能力は以下となる。	
※処理能力が安定した後(箱③～④)の電力原単位(処理能力当たりの有効電力)は以下	
回収時間:12分	
排出量 : 27.555kg	
処理能力:137.8kg/h	
使用電力量:4.98kWh/12分	
有効電力量:24.9kWh/h	
処理能力当たりの有効電力量:180.7kWh/t	

図 45 ウレタンフォームの減容・固化テスト
テスト⑧参考数値

3-5-3. テスト結果

上記①～⑧のテスト結果は以下の通りである。

・テスト①、②について

テスト①、②は共に成形機のヒーターをオフの状態ではポリエステルの付いていないウレタン(黄色)のみで減容・固化テストを行った。①、②共に同条件で行ったものだが、①は大半が粉状のまま排出され、②は大部分が固まる結果となった。①の嵩比重は 0.15、②の嵩比重は 0.35 という結果になった。①、②の違いは、成形機内部の温度が 29 度から 91 度へ上昇していたことから、時間の経過と共に内部の温度が上昇したことによる。

・テスト③について

テスト③はウレタンの色の違いが固化に影響を及ぼすか確認した。テストには黄色、灰色、黒色の3種類のウレタンを使用した。成形機のヒーターはオフの状態です内部温度は89度。排出されたウレタンは大部分が固化しており、テスト②と同様の結果になった。

・テスト④について

テスト④も色の違いが固化に影響を及ぼすか確認した。テストは青色、茶色を混ぜて行った。成形機のヒーターはオフの状態です内部温度は89度。排出されたウレタンは大部分が固化しており、テスト②③と同様の結果になった。

・テスト⑤について

テスト⑤はテスト④と同様に青色、茶色を混ぜたものを成形機に投入した。ヒーターはオフのまま内部温度が180度～200度に上昇するまで連続してテストを行った。嵩比重は0.45と最も良く、ウレタンの色ではなく、温度が重要であることがわかった。

・テスト⑥について

テスト⑥は少量(10%程度)のポリエステルが含まれている状態で成形機に投入した。ヒーターはオフの状態です内部温度が約180度になるまで連続稼働した。排出物の嵩比重は0.39と良い結果だが、上記図47の通り固まりきってはいない状態となった。

・テスト⑦について

テスト⑦は大量(30%程度)のポリエステルが含まれている状態で成形機に投入した。ヒーターはオフの状態です内部温度が約170度になるまで連続稼働した。排出物の嵩比重は0.23とかなり悪い結果となった。

・テスト⑧について

テスト⑧はウレタンのみを使用し、温度と固化時間について確認した。ヒーターを使用し内部温度が80度になった所でウレタンを投入。15分辺りで固化開始、21分後からは完全に固化されたものが排出される様になった。

以上の事からウレタンの固化には成形機の内部温度とポリエステルの含有量が重要である事がわかった。内部温度は170度以上必要であり、内部温度が低い場合は粉状の

まま排出されるため、冬季などの外部温度が低い場合にはヒーターを使用し内部温上げる必要がある。また、ポリエステル含有量は 10%程度が限界であり、それ以上になると固化せず、ボロボロと崩れてしまう結果となった。

3-6. 多量粉碎・固化テスト

3-6-1. テスト概要

社会実装を前提にマットレスを多量で連続的に破碎・固化した場合のオペレーション上の問題点を確認した。

準備したマットレスは 600 枚 (2,531kg)、使用機器は破碎機、成形機共に令和 5 年度と同じく、富士車輛(株)製 一軸破碎機及び富士車輛(株)製 RPF ステーションを使用した。破碎機、成形機の設定も令和 5 年度と同条件、RPF ステーションの温度設定は 170℃とした。



図 46 富士車輛(株)製 RPF ステーション

引用元： https://www.fujicar.com/products/products03_3.html

3-6-2. テスト結果

テストは①5月14日、②5月21日、③5月28日の3日間に分けて行った。各日も特に問題は起きず、令和5年度に検討した手法（解体・破碎・選別・減容化プロセス）が使用できるとの確認が出来た（図47・図48）。



↑破碎・固化のためカバーは無し



↑各行程を1つ1つ確認した

図 47 マットレスの粉碎作業の様子



↑稼働開始時は固まり難い



↑時間が経つと安定する

図 48 マットレス減容化後の形状（稼働時間による差分）

3-7. 粉碎機を他業務と共用した場合の検討

3-7-1. 検討概要

イニシャルコスト削減のため、既設の破碎機を用いて本件業務が他業務と破碎機の共用が可能か否か確認をした。

他業務と破碎機の共用が可能であれば、新たに専用の破碎機を設置する必要がなく、前処理コストの大きな削減になる。一方で破碎機の構造上、事前に行っていた他業務での処理物を完全に除去する事が難しく、異物として混入してしまう事が予想される。そのため混入の確認及び、後工程であるケミカルリサイクルにおいて許容できるか否かを確認した。

3-7-2. 検討方法

リバー(株)東松山事業所にて稼働中の SSI 社製 4 軸破碎機を使用し、対象マットレスの

破碎テストを行った。

当該破碎機は通常、廃プラスチック等の産業廃棄物処理を行っているため、本件破碎テスト前に 15 分間の空転を行い残地物の払い出しを行った。対象マットレスは使用済みマットレス 67 枚 (450kg) を破碎し、破碎後は破碎物を広げ目視にて異物を回収し確認した。

3-7-3. 検討結果

破碎テスト後、破碎物より①紙屑、②小型モーター等電子部品、③プラスチック片、④エナメル線が確認できた。①紙屑は 20g、②小型モーター等電子部品は 150g、③プラスチック片は 30g、④エナメル線に関しては無数にあり全量回収は不可能であった。

後工程であるケミカルリサイクルにおいて、小型モーターの様な金属塊が混入してしまうと、リサイクルプラントの破損につながり受け入れる事は出来ない。

以上のことから、廃プラスチック等の破碎業務では金属片混入を避けられず、破碎機の共有は出来ず、本件業務専用ラインの設置が望ましい。



図 49 使用済みマットレスの管理の様子



図 50 粉碎後の混入物（左：紙屑、エナメル線が多く混入）



図 51 紙片



図 52 混入物（プラスチック片、小型モーター、金属製のネジ、ゴム片）

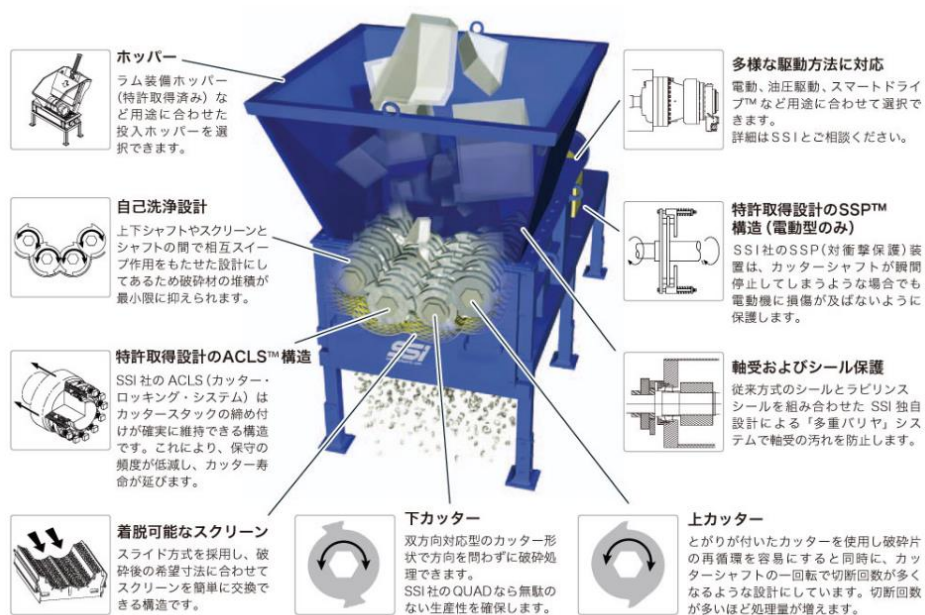


図 53 SSI 社製 4 軸破砕機 (<https://ssijapan.com/product/quad/>)



図 54 Q 8 5 型 (<https://ssijapan.com/product/quad/>)

3-8. マットレス解体手法～減容化手法検討結果

令和5年度の活動では①解体テスト、②破碎テスト、③選別テスト、④減容化（固化）テストの4つのテストを行い、以下の確認が出来た。

① 解体テストでは、ウレタンマットレスの構造の把握を目的として人の手による解体を実施した。手解体により、精緻な解体も可能となり、使用済みのウレタンマットレスの構造が把握できた。

① 破碎テストでは、富士車輛(株)製の一軸破碎機を使用し、光学選別機に通すための前処理としてマットレスの破碎を実施した。破碎工程自体に特に課題は見られず、ウレタンマットレスの破碎に一軸破碎機が適している事がわかった。

② 選別テストでは TOMRA 社製の光学選別機を使用し、ポリエステルとウレタンとを分別することが出来た。

③ 減容化（固化）テストでは富士車輛(株)製成形機を使用した。減容化（固化）の結果、嵩比重 0.035 から 0.45 と 10 倍以上とする事ができた。

令和6年度の活動では①多量を連続して破碎・固化を行った場合のオペレーションの確認、②他業務と破碎機の共有の可否について以下の確認が出来た。

① 600 枚（2,531kg）と量が増えても令和5年度活動で確認した設定で問題なく破碎・固化出来る事を確認した。

② イニシャルコスト削減の為には既に他業務で使用している設備を共有する事が望ましいが、その一方で後工程のケミカルリサイクルラインでは金属等の異物混入は設備の破損に繋がり望ましくない。

そこで、実際に産業廃棄物処理で使用している破碎機を使用することで、どの程度の異物混入があるかを確認した。

廃棄物処理の性質上、多種多様な異物の混入があり、また破碎機の構造上、事前に処理していた物が残ってしまう事を防ぐことが難しい。

よって、専用ラインにすることが望ましい。

4. 事業化に向けたケミカルリサイクル技術の実証

4-1. 検討の全体像

昨年度は、フォーム種別毎の使用済み製品及び前処理（粉碎・選別・減容化）後のウレタンフォームの分解・精製試験を行い、最適な分解・精製方法及び前処理方法の条件を検証した。また、副産物であるイソシアネート由来成分（TDA 誘導体）の有効活用方法を検討した。

本事業 2 年目となる今年度は、昨年度の残課題となっていたポリマーポリオール（POP）由来固形物等のろ過条件検討及び再生ポリオールの収率アップのための最適な精製方法の検討を行った。

また実機生産を見据えた委託先でのスケールアップ分解・精製試験を実施し、ウレタンフォーム製造試験及びマットレス評価に供試する再生ポリオールを得ることを目的として試製を行った。

4-2. ウレタンフォーム分解手法の検討

4-2-1. 検討概要

昨年度の検討により、使用済みマットレスに使用されるウレタンフォームのフォーム種別によって分解・精製の難易度が異なることが分かっている。

本検討では、パラマウントベッド(株)製マットレスの種別をフォーム種別でのばらつきを抑える目的で、選定マットレスを特定の種別に固定したうえでそれぞれのマットレスの比率も固定し、フォーム種別でのばらつきを抑えたうえで最適な分解・精製方法を確立すると共に POP 由来固形物のろ過条件検討及び再生ポリオールの収率アップを目的とした最適な精製方法の条件について検証した。

また、委託先でのスケールアップ分解・精製試験を実施してフォーム製造委託先での生産ラインを用いたウレタンフォーム製造テストの必要量である 1 トンの再生ポリオールの試製を行った。

4-2-2. 検討方法

昨年度の検討ではグリコール分解法でのケミカルリサイクルを行うこととし、パラマウントベッド(株)より複数のマットレスを提供いただき、グリコール分解法での詳細な分解・精製プロセスについての検討を行った。本年度も引き続きグリコール分解法での検討を継続して行った。グリコール分解法の分解・精製のスキームを図 55 に示す。

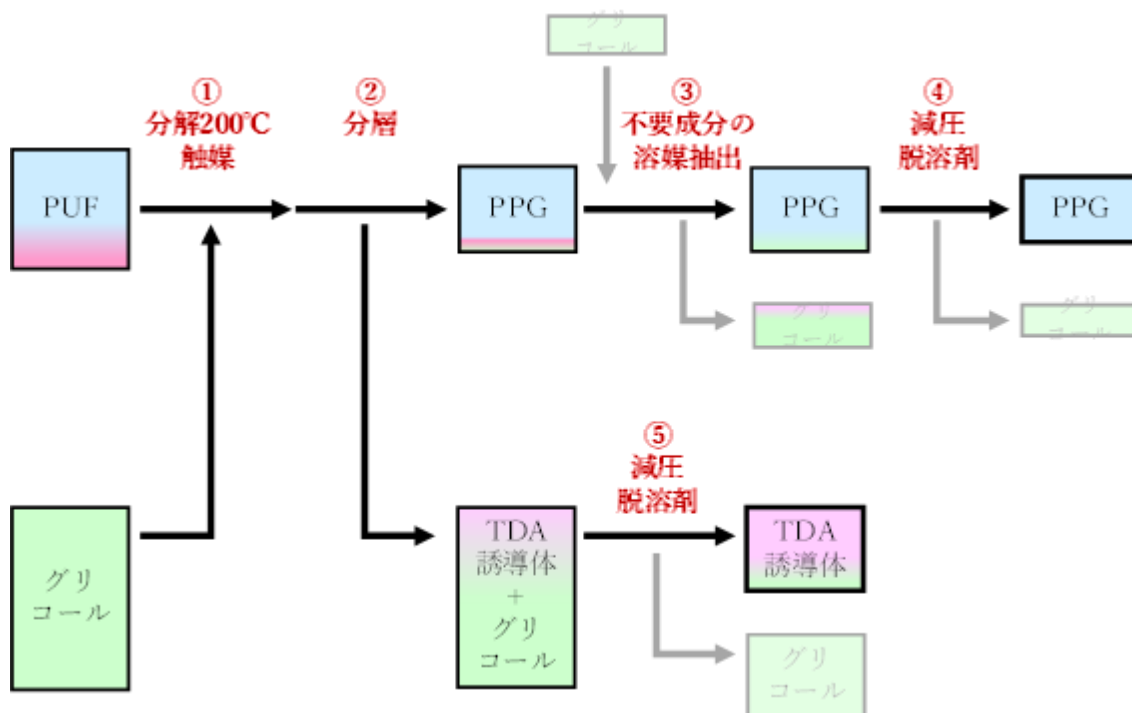


図 55 グリコール分解の分解・精製スキーム

規定量のポリウレタンフォームと分解溶媒として使用するグリコールを反応器に仕込み、触媒の存在下で 200°C に昇温し分解の完了まで一定時間加熱する。分解の完了は目視で確認する。その後、ごみや POP 由来の固形分をろ過し除去する。分解が完了後はポリオール層（上層）とイソシアネート由来のアミン誘導体層（下層）に分離するので、上下層の分層操作を行う。

分層したポリオール層にはアミン誘導体及びグリコールが一部混在しているため、新しいグリコールでの洗浄・抽出操作を行う。その後、残留しているグリコールを減圧蒸留にて除去し、再生ポリオールを得る。洗浄・抽出及び減圧蒸留で除去したグリコール

は、次回の分解時に再利用する。

イソシアネート由来のアミン誘導体層には多量の分解剤グリコールが混在しているため、減圧蒸留にて除去するが、全量のグリコールを除去するとアミン誘導体の粘度が高く取り扱いが困難となるため規定量のグリコールを残置し、アミン誘導体とグリコールの混合物を得る。減圧蒸留で除去したグリコールは、次回の分解時に再利用する。

パラマウントベッド(株)から提案を受けた試験サンプル候補のマットレスを図 67 に示す。このうち、実際の販売量や回収量を考慮に入れ、候補③の防水タイプ、洗浄タイプと候補④の防水タイプを試験サンプルとして選定した。それぞれの混合割合を表 10 中に青字で示す。試験サンプルは、2 章に記載の方法で前処理を行ってから試験に使用した。

表 10 パラマウントベッド社製マットレスの種類と販売量

製品名（カバー無重量）	防水タイプ	洗浄タイプ	合計数
候補①(6kg)	27.0t ウレタン1種 H	-	27.0t ウレタン1種H
候補②(5kg)	112.5t ウレタン4種 B,C,D,I ポリエステル	37.5t ウレタン3種 B,C,D ポリエステル	150.0t ウレタン4種B,C,D,I ポリエステル込
候補③（5.5kg） →選定マットA	574.8t ウレタン5種 D,E,F,H,I ポリエステル（エッジ）	498.8t ウレタン5種 B,C,D,E,F ポリエステル（エッジ）	1,073.5t ウレタン7種 B,C,D,E,F,H,I ポリエステル込
候補④（9kg） →選定マットB	445.5t ウレタン5種 A,F,G,H,I ポリエステル（エッジ）	214.5t ウレタン5種 A,B,C,F,G ポリエステル（エッジ）	660.0t ウレタン7種 A,B,C,F,G,H,I ポリエステル込
小計	1,159.8t	750.8t	1,910.5t ウレタン9種A～I+ポリエステル

その際使用前後でのマットレスの劣化度合いによる差異を確認する目的で、使用済み及び新品のマットレスサンプルによる比較も併せて行った。

このサンプルを用いて、昨年度の残課題となっていた POP 由来固形物等のろ過条件最適化の検討を行うとともに、分解・精製後の再生ポリオール収率アップのための最適な精製方法についても検討を行った。

本実証におけるグリコール分解の分解・精製のスキームが確定したのちに委託先でのスケールアップ試製を行い、第 5 章の再生ポリオールによるフォーム製造・マットレス評価に使用する必要十分な量の再生ポリオールを得た。また、副生成物であるイソシアネート由来のアミン誘導体を得た。

委託先でのスケールアップ試製については、使用前マットレスを第 3 章でリバー(株)にて前処理（粉碎・選別・減容化）した図 56 に示すペレットサンプルを使用した。分解・精製後の再生ポリオールについては、フリー発泡での発泡試験を実施し反応性及びフォーム状態の確認を行った。



図 56 減容化したペレット状の分解用樹脂

4-2-3. 検討結果及び考察

まずは、POP 由来固形物等のろ過検討を行った。
マットレスサンプルの分解及びろ過後の様子を図 57、表 13 に示す。

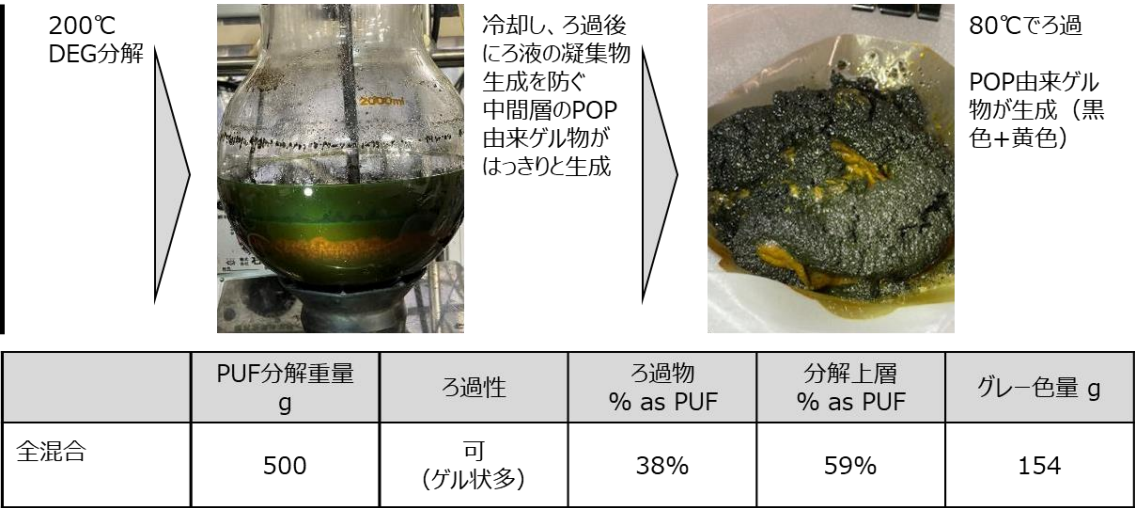


図 57 マットレスサンプルの分解・ろ過の様子

昨年度の検討で、POP 添加量の多いグレー色フォームでは図 58 に示す通り POP 由来の固形分が固化し、ろ過困難となることが分かっている。



図 58 グレー色フォーム分解試験結果（昨年度実施）

POP は、軟質ポリウレタンフォームでは硬度発現のため 一般的に使用される特殊ポ

リオールの一種である。アクリロニトリルやスチレン等のビニルモノマーが重合した粒子がポリオールに分散しており、その粒子がフィラーの役目をするにより硬度を発現する。しかし本検討のような分解条件下ではこの粒子は分解せず分解液から分離されるため、濾別が必要となることが分かっている。

本検討に用いられているグレー色フォームのような POP 含有量の多いウレタンフォームでは、同様の状況が起こりやすいと推測されるため、分解・精製の際には他のフォームと混合し POP 濃度を薄めて分解するか、リサイクル対象から除外する必要があることが昨年度の検討から示唆されていた。

本検討に使用したマットレスにもこの POP 含有量の多いグレー色フォームが使用されており、図 69 に示す通りろ過時に発生するゲル物が非常に多い状況となっているため、スケールアップ時にろ過物が配管に詰まったり、大量の固形物が反応器内に残留し除去が困難になったりする等の不具合の発生が懸念されることが確認できた。そのため、グレー色フォームの削減によるろ過ゲル状物の削減検討を行った。グレー色フォームの量を全混合、グレー色フォーム半分、グレー色フォームなしで比較した結果を表 11 に示す。

表 11 グレー色フォーム削減検討結果

	PUF分解重量 g	ろ過性	ろ過物 % as PUF	分解上層 % as PUF	グレー色量 g
全混合	500	可 (ゲル状多)	38%	59%	154
グレー色フォーム 半分	500	可 (ゲル状中)	27%	61%	91
グレー色フォーム なし	500	可 (ゲル状中)	10%	62%	0

ろ過物の量は、グレー色フォームの減量に伴い減少し、約 40%であったものが半量で約 30%まで、無しで約 10%まで減量する結果であった。

また、分解上層（精製前ポリオール層）の量がグレー色フォームの減量に伴い増加しており、フォーム中の POP 添加量が減少にしていることによる歩留まりの良化が確認さ

れた。

次に、フォームの劣化度合いでろ過性に差異があるかを確認する目的で、使用済みマットレスと新品マットレスでの比較を行った。

結果を表 12 及び表 13 表 に示す。

表 12 新旧マットレスによる生成ろ過物量の比較

	グレー色フォームあり	グレー色フォームなし	特徴
使用済み マットレス	40% as PUF 柔らかい黒が多い	10% as PUF 柔らかい黒が多い	・ろ過で目詰まり傾向（軟らかいろ過物が多いため）
新品 マットレス	60% as PUF 固化した黒が多く、 柔らかい茶色もある	20% as PUF 固化した黒と軟らかい 茶色が半分づつ	・固化した黒色の異物がフラ スコ内に残り、軟らかい茶色 は濾別される

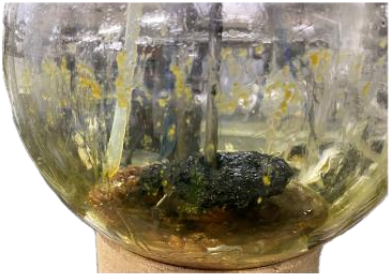
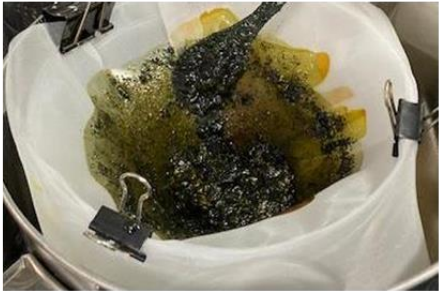
表 13 新旧マットレスによる生成ろ過物の比較写真

	グレー色フォームあり	グレー色フォームなし
使用済み マットレス		
新品 マットレス		

生成ろ過物は、新品マットレスに比べ使用済みマットレスでは大幅に減少することが分かった。これはマットレスの使用や洗浄等を繰り返すことによるウレタンフォームの

劣化が関係していると推測される。表 14 に示す通り、固形物の生成状態にも違いがみられており、使用済みマットレスではゲル状となりろ過目詰まりを起こしやすい状態となっており、新品マットレスでは一部反応器内での固形物の発生が見られた。

表 14 使用済みと新品での反応器内固形物及びろ過物の比較

	使用済みマットレス	新品マットレス
反応器残留物	なし	硬い黒色固形物が残る
		
ろ過物	軟黒色ゲルと軟茶色ゲル	やや軟らかい茶色ゲル
		

また、新品マットレスと使用済みマットレスのどちらでも、グレー色フォームを除外することによりろ過物量の大幅な減少が確認できた。この結果から、POP 含有量の多いフォームを使用したマットレスのケミカルリサイクルでは、反応器内での大量の固形物の生成による配管目詰まりやろ過不良等の不具合の発生が懸念される結果であった。

本検討でのスケールアップ試製を行う際に使用するマットレスは、必要量準備の関係で使用済みマットレスの準備が間に合わなかったため新品マットレスを使用することとしているが、社会実装時には固形物発生の挙動が異なる可能性が高いため、使用済み

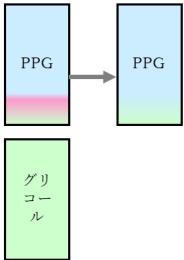
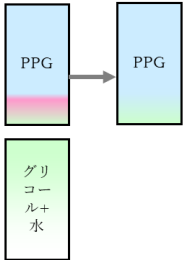
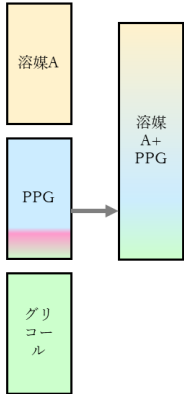
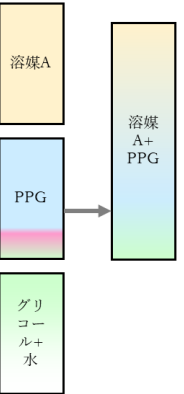
マットレスでの繰り返しの検証が必要であり今後の課題となる。また、本検討でのスケールアップ試製については、委託先での不具合発生回避を優先しグレー色フォームを除外し行うこととし、ろ過性の改善を目的としてろ過の際にはろ過助剤を使用することとした。

次に、再生ポリオール収率アップのための精製条件検討を行った。

昨年度の検討では、分解上層のポリオール層を分解剤であるグリコールで洗浄し、その後残留しているグリコールを減圧蒸留することにより再生ポリオールを得ていた。しかし、全フォーム種混合ウレタンフォームからのポリオール回収率は凡そ 40%程度、ポリオールとしての回収率は 70%程度、ポリオール純度は 96%程度であった。POP 由来のろ過物が 20%程度除去されることから、ポリオール回収率は 40%程度に留まった。軟質スラブフォームのモデル処方（POP を含まない）を用いた事前検討では、ウレタンフォームからのポリオール回収率は凡そ 60%程度、ポリオールとしての回収率は 90%程度、ポリオールの純度は 97%程度であったが、実際のマットレスに使用されるフォームでは POP 由来の固形分の影響で回収率は低くなることが確認できた。

回収率はコストに影響を与えるため、回収率の向上が大きな課題となる。本年度の検討目標としては、ウレタンフォームからの回収率は 50%以上、ポリオールとしての回収率は 80-90%程度、ポリオールの純度は 97%以上を目指して昨年度来検討を継続していた。具体的には、図 75 に示す通り精製・洗浄の際に貧溶媒をポリオール抽出層として用いる方法と、水をグリコール層の極性強化として用いる方法を検討した。

表 15 再生ポリオール収率アップのための精製方法検討

洗浄方法	グリコール洗浄	グリコール・水洗浄	グリコール洗浄+溶媒A抽出	グリコール・水洗浄+溶媒A抽出
図解 得られた上層のグリコール、溶媒A、水は脱溶剤工程で留去				
期待効果		PPG収量増	PPG収量増	PPG収量増
想定デメリット	グリコール層に一部PPGが抽出	下層から水の留去が必要		下層から水の留去が必要

検討の結果、単純なグリコールでの洗浄に比べて期待効果の通り各方法で収量の増加が確認できた。ただし、水を併用した方法では再生ポリオールに含まれる不純物の除去が悪化しポリオールの純度が下がることが確認され、また洗浄下層グリコール層からの水の除去が必要になり工程が増えることから、貧溶媒をポリオール抽出層として用いる方法に絞り再検討した。その結果を表 16 に示す。

表 16 再生ポリオールの精製方法検討結果

		洗浄工程		ポリオールのGPC	
	分解PUF量		ポリオール収率	PPG %	アミン %
従来法	92.6g	グリコール洗浄	26% as PUF	93.8%	1.5%
貧溶媒併用法	92.6g	グリコール洗浄+溶媒A抽出	39% as PUF	96.2%	1.6%

従来の方法ではウレタンフォームからのポリオール回収率は 26%であったが、精製方法の見直しにより 39%まで向上することが確認できた。ラボでの少量検討のため、分解量が少なく壁面付着等のロスが大きいことから絶対値は低く出ているが、精製方法の見直しにより、再生ポリオールの回収率は大きく向上することが確認できた。

従来の方法であればウレタンフォームからのポリオール回収率は 40%弱であったが、本精製方法を用いることによりスケールアップでの壁面付着減少等の効果も含め目標としていた 50% を上回る回収率が期待できる結果となった。

ケミカルリサイクルプロセスの条件設定に関する検討は概ね終了したため、委託先との作業標準等のすり合わせを行ったうえで、第 5 章の再生ポリオールによるフォーム製造・マットレス評価のために使用する再生ポリオールのスケールアップ試製を行った。ブロックフローを図 59 に、概略機器フローを図 60 に、設備レイアウト図を図 61 に示す。

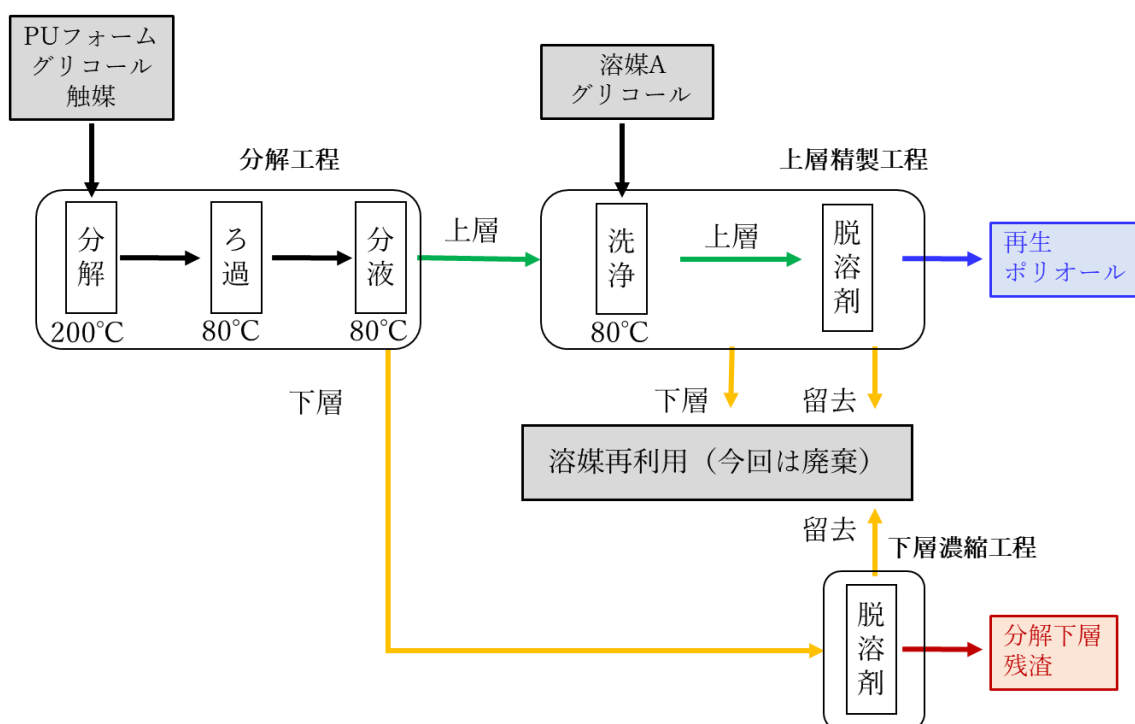


図 59 スケールアップ試製のブロックフロー

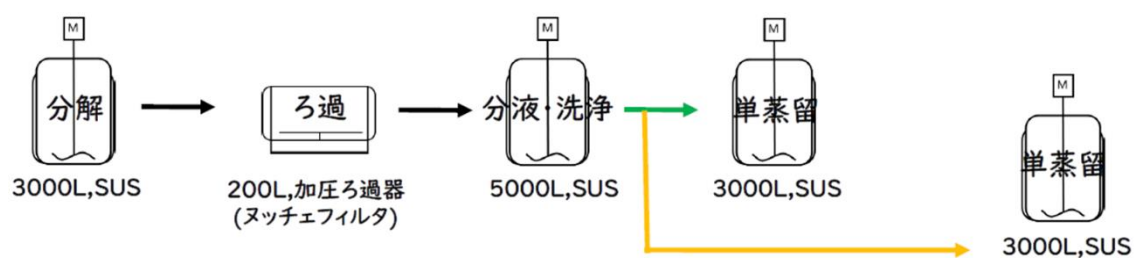


図 60 概略機器フロー

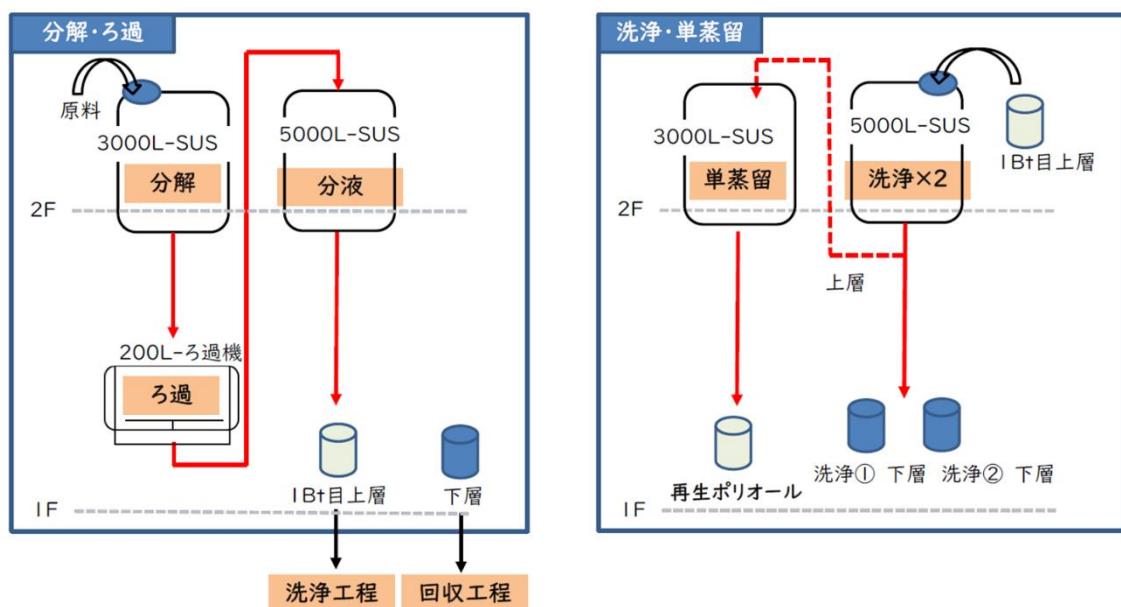


図 61 設備レイアウト図

委託先でのスケールアップ試製については、新品マットレスを第 3 章で示した通りリバー㈱にて前処理（粉碎・選別・減容化）した図 56 に示すペレットサンプルを使用した。使用する反応器は、分解工程用として 3,000 L の S U S 製反応器、分層・精製工程用として 5,000 L の S U S 製反応器及び 200L ろ過器を使用した。図 56 に示すペレットサンプル約 2 t を使用して 2 バッチの分解・分層処理を行い得られた分解上層ポリオール層を 1 バッチで精製処理を行い、フォーム製造に必要な約 1 t の再生ポリオールを得た。得られた再生ポリオールの一般性状及び GPC チャートを図 62 に示す。また、分解下層からグリコールを減圧蒸留しイソシアネート由来アミン誘導体を得た。

得られた再生ポリオールは図 62 の GPC チャートから分かる通り主に大きな 2 つのピークを示しており、少なくとも 2 種類以上のポリオールの混合物であることが確認できた。

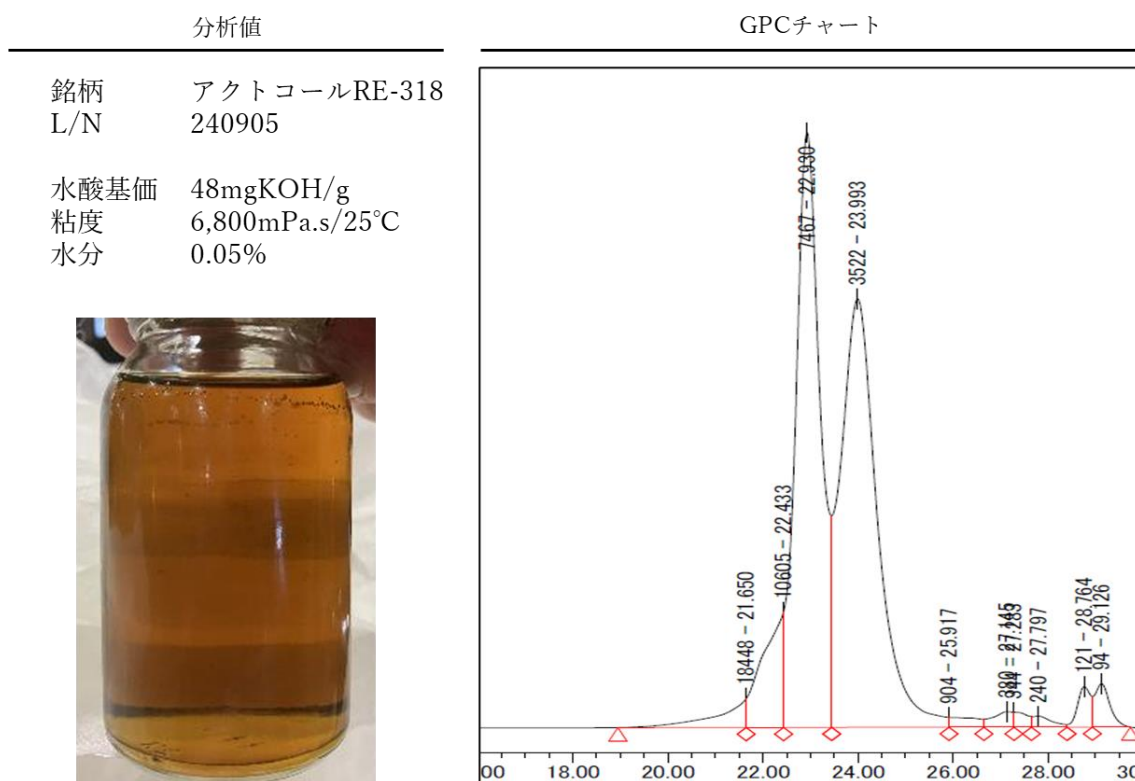


図 62 再生ポリオールの一般性状

得られた再生ポリオールは図 62 の GPC チャートから分かる通り主に大きな 2 つのピークを示しており、少なくとも 2 種類以上のポリオールの混合物であることが確認できた。

昨年の検討で、フォーム種別ごとに使用されているポリオールが異なるために得られるポリオールの分子量分布に差があることが分かっていた。本検討においても同様に複数のフォーム種別の混合であることから、再生ポリオールは複数の異なるポリオールが混合された状態で取り出されるが分離することは困難であるため、発泡試験を行い実際のフォーム発泡に供することが可能か否かについて確認が必要である。

今回の再生ポリオールは、通常のバージンポリオールに比べて粘度が高いことが確認された。これは、マットレス製造の際にフォームを接着する接着剤成分の影響であると考えられる。接着剤成分を含有しない場合には、通常のバージンポリオールと遜色ない粘度であることは確認済である。高粘度であることはフォーム成型への影響も懸念されるが、本検討では 20 部程度の置き換えを前提としているため影響は限定的であると考ええる。

得られた再生ポリオールの一般性状分析については通常の石油系バージンポリオールの規格に準じて、粘度、水酸基価、水分についての測定を行うものとする。また、再生ポリオールには微量の不純物が含まれていることから、ポリオール純度及び含有されるグリコール量についても測定することが望ましい。

得られた再生ポリオールを用いて、一般的なスラブフォーム処方でフリー発泡での発泡試験を実施した。比較対象のポリオールに対して、20 部置き換えでの発泡評価を行った。その結果を表 17 に示す。

比較対象のポリオールは汎用的なスラブフォーム用のポリオールを使用した。
イソシアネートは、コスモネート®T-80（三井化学(株)製）を使用した。

表 17 再生ポリオールが発泡評価結果

	標準品	再生品
PPG-A	100	80
再生ポリオール	—	20
H ₂ O	4.5	4.5
触媒-A	0.3	0.24
触媒-B	0.23	0.21
整泡剤	1.2	0.7
T-80 (I:115)	Index115	Index115
フリー発泡		
ライズタイム (s)	90	99
ヘルスバブル	○	○
コア密度 (kg/m ³)	24.3	23.8
通気性 (cm ³ /cm ² .s)	56	29
25%CLD (kg/100cm ²)	44	50
引張強度 (kPa)	94	104
伸び (%)	119	124
引き裂き強度 (N/cm)	3.8	4.0
圧縮永久歪/Dry (%)	3.2	4.4
圧縮永久歪/Wet (%)	6.5	16.1



図 63 参考写真：フォーム写真（左：標準品、右：再生品）

発泡評価では再生ポリオールに含まれる不純物の影響を考慮して、触媒量、整泡剤量を調整して行った。

結果としては、硬度がやや高く湿熱圧縮永久歪が悪化する傾向が確認された。ただし、処方調整が十分ではなく通気量が大幅に悪化していることが硬度に影響していると考えられる。また、湿熱圧縮永久歪の悪化については2つの分子量ピークを持つことから、混合されたより親水性の高いポリオール成分の影響であると考えられる。

ただ現時点での発泡評価としては十分であると考えており、今回の結果からは標準品と同等のフォームが得られることが示唆された。詳細な発泡確認及びマットレスでの性能評価については、発泡協力会社における第5章の再生ポリオールによるフォーム製造及びパラマウントベッド(株)におけるマットレス評価で詳述する。

実施したスケールアップ試製において、ラボ試製で懸念されていた課題及び実機製造の製造工程上課題となりえる課題が顕在化した。

大きな課題としては、POP の粒子（固形分）に由来するろ過性悪化に伴うろ過時間の増加、併せて POP 由来固形物の反応器内の残留が挙げられる。

POP 由来固形物に起因するろ過時間の増大に関しては、委託先設備の関係上ろ過面積が不足していたことが原因と考えられるため、最適なる過器の設置で解決できると考えているが、更なるろ過性向上に向けた反応条件最適化についても継続して検討を行っている。POP 由来固形物の反応器内残留に関しても、固形分の発生形態や量について反応条件の最適化での対応可能性について継続して検討を行っている。

本実証事業終了後も担当部署と協力し今後の実装に向けてプロセスの最適化を継続して実施する予定である。

これまでの検討から、一部の課題はあるものの分解・精製プロセスにおける条件設定はほぼ完成したと考えている。しかしながら、現状では再生ポリオール混合比率は20部程度にとどまっている。これは数%含まれている不純物の影響が主要因と考えられる。現状の精製度では配合処方調整を実施しても混合比率を上げることによる発泡時の不具合の発生を抑えることは難しいと考えられる。そのため混合比率の更なる向上に向けては、更なる純度向上に向けた最適な精製方法の検討を進めると共にフォーム製造協力会社の協力を得ながら配合処方の調整による改善を含めた検討を本実証事業終了後も継続して行う予定である。

分解・精製プロセスの条件設定が概ね終了したことに伴い、事業化を見据えた原料比例費の概算及び設備の基本設計を行い、ケミカルリサイクルプロセスのコスト試算を行った。設備設計にあたっては、専門部署との連携を図りながら実施した。現状での試算結果では当初目標である石油系バージンポリオールの価格を大きく上回ることが示唆された。更なるコストダウンを達成するため、本事業終了後も引き続きプロセスの最適化については詳細検討を継続する予定である。

設備投資に伴う固定費に関しては、更なるプロセスの簡略化等を通じて低減を図るとともに、今回の委託先を含めた外部委託での製造も視野に検討を継続する予定である。

4-3. イソシアネート由来成分の再利用手法検討

4-3-1. 検討概要

本実証において検討しているグリコール分解法では、ウレタンフォームを分解・精製することにより得られるポリオールを主成分として活用するが、副生物としてイソシアネート由来のアミン誘導体が生成することが分かっている。このアミン誘導体を更に分解しイソシアネート前駆体であるアミンを取り出し、更にホスゲン化することでイソシアネートに戻すことも技術的には可能である。しかし、工程が延長することや使用する原材料、副生する廃棄物や輸送等によるコストアップや GHG 排出量の増大が懸念されることが分かっているため、本実証ではアミン誘導体を再分解しイソシアネートに戻すことなくアミン誘導体としての活用する方法を検討した。このイソシアネート由来成分を有効活用することによりプロセスの簡略化が図れるため環境負荷の低減及びコスト削減の効果が期待できる。

昨年度の検討では、イソシアネート由来のアミン誘導体を硬質ウレタンフォーム用原料として活用する方法を検証した。

また、H₂/CO 原料代替への適用についても可能性の検証を行った。

今年度も引き続き、硬質ウレタンフォーム用原料として活用する方法を継続して検証している。

4-3-2. 検討方法

昨年度は、廃マットレスの分解・精製によって得られた分解生成物であるイソシアネート由来のアミン誘導体とグリコールの混合物を硬質ウレタンフォーム用原料として適用し、フォーム諸物性の確認をラボレベルで行った。既存の EDA（エチレンジアミン）系ポリオールとの比較において圧縮強度は良好な結果であった。フォーム流動性及び熱伝導率については同等レベルの結果であった。以上の結果から、断熱材用硬質ウレタンフォーム用途としては問題なく使用できるレベルであることを確認できた（図 64）。

得られたアミン誘導体の一般性状分析については通常の石油系バージンポリオールの規格に準じて、粘度、水酸基価、水分についての測定を行うものとする。比較対象としては、活性等を考慮し EDA 開始剤のポリオールを選択した。

本年度は、スケールアップ試製で得られたイソシアネート由来アミン誘導体の硬質ウレタンフォーム用原料としての適用可能性について継続検討した。

また、H₂/CO 原料代替への適用についても組成分析等実施した上で改めて可能性の検証を行った。H₂/CO 製造プロセスを図 68 に示す。

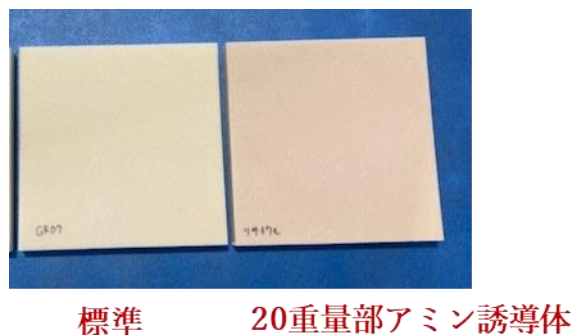


図 64 アミン誘導体の硬質ウレタンフォームへの適用（昨年度実績）

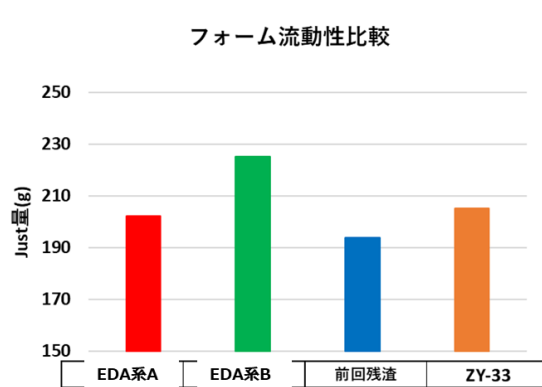


図 65 フォーム流動性比較

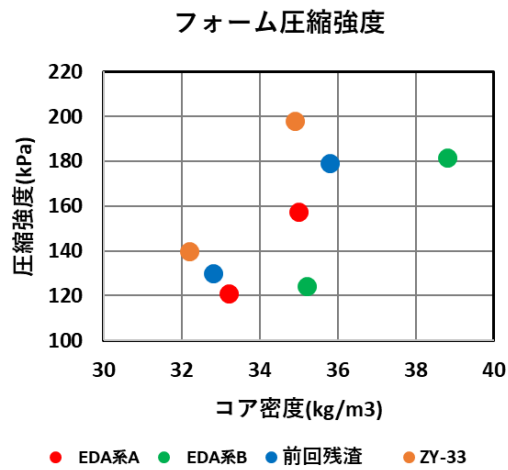


図 66 フォーム圧縮強度

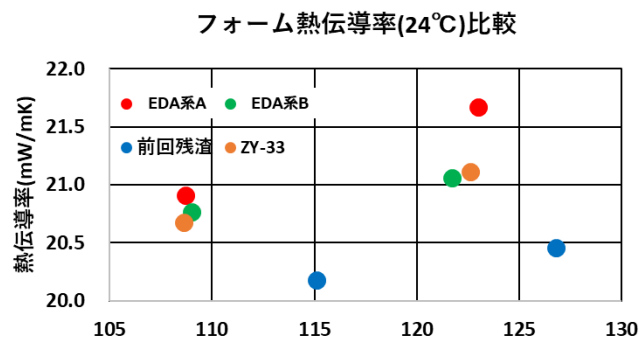


図 67 フォーム熱伝導率(24℃)比較

・ Fuel Oil代替（混合使用）

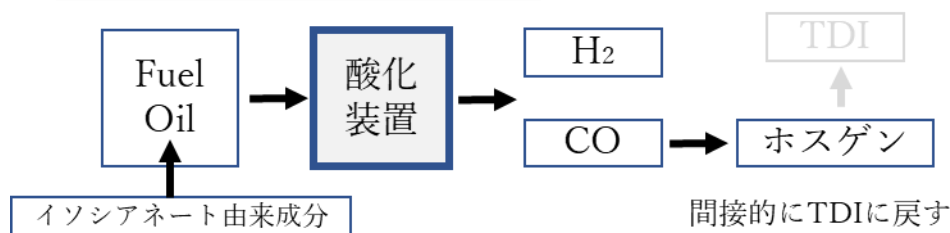


図 68 H₂/CO 製造プロセス

4-3-3. 検討結果及び考察

4-2 で述べたケミカルリサイクルのスケールアップ試製において、約 700kg の一部グリコールを含むアミン誘導体を得た。

昨年度は、硬質系 EDA 系ポリオールとの比較を行ったが、本年度も引き続き EDA 系ポリオールとの比較を行うとともに、他の硬質フォーム用途での適用も併せて検討を行っている。基礎物性の測定及び顧客への試料供与を年度内に実行し硬質ウレタンフォームへの適用可否に関して詳細な解析を行う。

今回のようなパネル断熱材用途では反応性の点から混合比率は大きく上げることが難しい可能性があるが、スプレー断熱材等の用途であれば混合比率をさらに向上させることが出来る可能性があるため、本実証事業終了以降も引き続き検討を継続する予定である。

本実証の分解・精製条件で得られるイソシアネート由来のアミン誘導体は、イソシアネート由来のアミンとグリコールからなるウレア結合及びウレタン結合を有する末端水酸基及びアミノ基の複数の化合物の混合物である。確認の結果、想定される生成化合物の内、ある複数種の化合物は化審法上の既存化学物質に帰属できるが、他の化合物は化審法上の新規化学物質であることが分かった。従って、硬質フォーム用原料として活用するには化審法/安衛法における新規化学物質の届け出が必要となることが分かっているため、今後商業化に向けて適切な時期に手続きを進める予定である。

また、硬質ウレタンフォーム用途以外にイソシアネート製造事業所である三井化学

大牟田工場での H₂/CO 製造原料 (Fuel Oil) 代替としての活用も並行して検討している。

FO の一部を置き換えることにより、生成した CO からホスゲンを製造し、間接的にイソシアネートに戻すことが可能となる。本検討では、その場合に必要な分析を行った。

昨年度の分析結果から、物性上の大きな問題は無いことが確認され、1%程度の量であれば製造原料の代替として使用できることを確認していた。

しかし、本年度の実際のマットレスを分解したアミン誘導体に関する新たな分析結果から塩素分の含有量が多いことが分かった。塩素分の含有量が多い場合、燃焼により塩酸が発生し炉を傷めてしまうことがあるため、FO 代替での使用は難しいとの結論に至った。

以上の通り、イソシアネート由来アミン誘導体成分は FO 代替では使用困難であるが、断熱材用硬質ウレタンフォーム用原料として活用できることが有力であるため、それによりケミカルリサイクルプロセスでの GHG 排出量の低減及びコストの低減に寄与することが改めて示唆された。

本実証終了後も引き続き実装に向けた硬質ウレタンフォームへの適用試験及び顧客での評価を計画し実行する予定である。

商用化に向けては大きく 2 つの課題があると認識している。1 つ目はコストであり 2 つ目は化審法/安衛法上の対応である。

コストについては、これまでの顧客ヒアリング等から現状で一般的に使用されている EDA 系ポリオールとの比較において、同等以下とすることが求められている。イソシアネート由来アミン誘導体の販売価格は、再生ポリオールのコストにも影響するためコスト精査をしたうえで、適正価格での販売ができるように検討を継続する。

化審法/安衛法上の対応については、商用化のスケジュールを考慮し適正な時期での申請を行うべく対応を進める予定である。

5. 再生ポリオールによるフォーム製造・マットレス評価

5-1. 検討概要

4章で分解・回収した再生ポリオールについて、粘度、水酸基価等の評価を行うとともにフォームにした時の物性等の評価確認を行う。また、再生ポリオールの混合比率向上を目指し、純度向上に向けた検討や、化学品安全に関する確認、さらにフォーム製造委託先での事前評価及び既存設備でのフォーム製造の確認を行う。

また、委託先でスケールアップ試製において分解・回収した再生ポリオールについては、製品として使用するためにはフォーム製造及びその後のマットレス製造の際の受け入れ可能スペックを確認する必要がある。バージンポリオールの一部を再生ポリオールで置換して使用することを想定しているため、この置換割合や対象となるウレタンフォームの従来の組成、求められる特性や機能によって、受け入れ可能スペックが変動する可能性があるためである。

実際の方法としては、バージンポリオールの一部を再生ポリオールで置換したポリオールを原料として用いて軟質スラブフォームおよびマットレスを試作し、マットレスの製品評価を行う。その後、原料としてポリオールが求められるスペック範囲を明確化するものとする。

軟質スラブフォームの製造はフォーム製造委託先の生産ラインを用いて行い、成形性や物性の測定を行った。そのフォームを用いてパラマウントベッド(株)でマットレス製造を行い、マットレスとしての性能評価を行った。

5-2. 検討方法

本検討における評価項目を下記表 18 に示す。

表 18 フォーム試作及びマットレス試作における評価項目

	大項目	評価項目	評価条件
発泡・製品試作	1. 配合処方調整	CT、RT、フォーム諸物性	再生ポリオール配合量調整 触媒、整泡剤等助剤調整
	2. 成形性評価（ラインテスト）	フォーム密度、発泡高さ、収縮、スコーチ性	実生産ラインでの製造試作 発泡品の外観確認 フォーム状態確認
	3. フォーム物性評価	密度、通気性、硬度、機械物性、耐久性	試作品フォームの諸物性測定（JISに基づく）
製品評価	1. 顧客使用感	体圧測定	PBオリジナル法
		硬さ測定	JIS K6400
	2. 強度	圧縮耐久性	JIS S1102
		屈曲耐久性	PBオリジナル法
	3. その他	接触物への変色性	PBオリジナル法

4 章におけるスケールアップ試製にて製造した再生ポリオールを用いて、フォーム製造委託先において現行品同等の反応性や通気性等を配合調整により調整し、実際の生産ラインにおいてフォーム製造を行い、その成形性及びフォームの一般物性測定等を行った。評価については、フォーム製造委託先において行った。

フォーム製造委託先でのフォーム発泡製造ののち、パラマウントベッド(株)において実際のマットレスとして試作を行い、上記表中のマットレスとしての製品評価を行った。

5-3. 検討結果及び考察（フォーム品質評価）

実際の製造ラインでのフォーム製造ラインテストにあたり、まずはラボ試験にて配合調整を行った。その配合調整の結果からラインテストでの配合処方を表 19 に示す。実際のラインテストで成形したフォームブロック写真を図 69 に示す。

表 19 配合処方と成形性評価結果

原料	現行	再生ポリオール
ポリオールA	100	80
RE-318 (再生ポリオール)	-	20
TDI (T-80)	Index115	
触媒A	○	down
触媒B	○	down
整泡剤	○	
RT [sec]	-	76
成形性	○	△

※成形性 ○：良好なフォーム（収縮なし、割れなし、底面に空隙なし）
△：収縮はないが、懸念点あり（底部に割れ、セトリング、トップ表面のクレーター）
×：収縮あり



図 69 成型フォーム写真

実際の生産ラインでのライントライ結果としては、触媒を調整することで生産ライン上でも問題なく、成形性の良いブロックを得ることができた。また図 69 写真のとおり

見た目による色の違いも見られなかった。

次に得られたフォームを用いて生地変色試験を行った。試験方法を以下に記す。

- ① 蒸留水をアルミホイルの上に 1g 垂らし、試験片の片面全体になじませる。
- ② なじませた反対の面にシートを置き、アルミホイルで包み、のりしろ部を全てテープで止める。
- ③ 90℃のオーブンに 24 時間放置し、開放後 30 分以上後に色差計でシートの色を測定する。
- ④ 3 個の試験片を測定し、その中央値を測定値とした。

試験結果を表 20 に示す。

表 20 生地変色試験結果

	b* (試験前)	b* (試験前)	色差 (試験前後の差)
現行	-6.50	-5.22	1.28
再生ポリオール	-6.34	-5.43	0.91

上記試験結果の通り、バージンポリオールを再生ポリオールに 20 部置き換えても生地変色には影響はなく、現行と同等であることが確認できた。

製造したフォームの一般物性試験結果を表 21 に示す。

圧縮残留ひずみで若干の悪化が見られるものの、許容範囲であり特に大きな問題なく、再生ポリオール 20 部置き換えで同等の物性を確保できていることが確認できた。

表 21 物性評価結果

試験項目	規格	現行		再生ポリオール		試験方法
見かけ密度 [kg/m ³]	20 ± 2	18.8		19.7		JIS K 7222
40%硬さ [N/314cm ²]	105 ± 20	97		98		JIS K 6400-2 (A法)
繰返し圧縮残留ひずみ [%]	-	厚さ低下率	硬さ低下率	厚さ低下率	硬さ低下率	JIS K 6400-4 (定荷重法)
		6.5	43.5	6.3	45.4	
75%圧縮残留ひずみ (標準) [%]	-	5.1		6.9		JIS K 6400-4 (B法)
75%圧縮残留ひずみ (70℃) [%]	20以下	4.7		6.0		JIS K 6400-4 (A法)
湿熱圧縮残留ひずみ [%]	-	7.2		8.1		JIS K 6400-4
復元率 [%]	-	4.3		4.7		JIS K 6400-4 (定変位法)
引張り強さ [kPa]	70.0以上	89.2		83.8		JIS K 6400-5 (2号型)
引裂き強さ [N/cm]	4.0以上	5.1		5.3		JIS K 6400-5 (B法)
難燃性 [mm/min]	100以下	0		0		FMVSS No.302

上記結果の通り、フォーム製造委託先での実際の製造ラインを用いたフォーム製造試作では、物性面で大きな問題はなく現行バージン材同等のフォームが得られることが確認できた。

ただし、成形面において一部懸念点が見られた。

フォームブロックをマットレス作成用の提出サンプルに加工した際、底部から 40mm の位置に割れ（幅 8.5cm）や硬度違い（幅 13cm）の箇所が見られた（図 70）。通常量産品は、底部から 20mm の位置からサンプルを切り出しているため、再生ポリオールを添加すると、触媒調整の影響から歩留まりが悪くなる傾向が見られた。

歩留まりの悪化はコストにも影響するため、適切な配合調整が必要となってくる。

通常、軟質スラブフォームでは適切にフォーム製造できる触媒調整の範囲をプロセスレンジと呼んでいる。このプロセスレンジを外れた場合に収縮や割れ、コラプス等の不具合が発生することがある。ポリオールの種類や配合処方によりプロセスレンジの幅は異なるが、安定的にフォームを製造するには適切なプロセスレンジ幅を確保する必要がある。

再生ポリオールでは、バージンポリオールと異なり不純物が含有しており、その影響でフォーム発泡時のプロセスレンジが狭くなることが過去の検討から分かっている。狭いプロセスレンジ幅に対応し最適なフォーム製造を行うためには、触媒量の調整を微調整し最適なレンジ幅を見極める必要がある。今回のフォーム製造ラインテストにおいては事前に触媒量の調整を行っていたが、実際のラインでの成型において更なる微調整をすることによってこの懸念点は解決できる可能性がある。

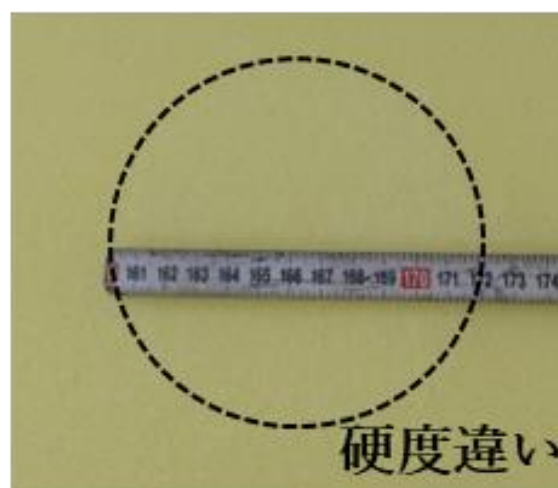
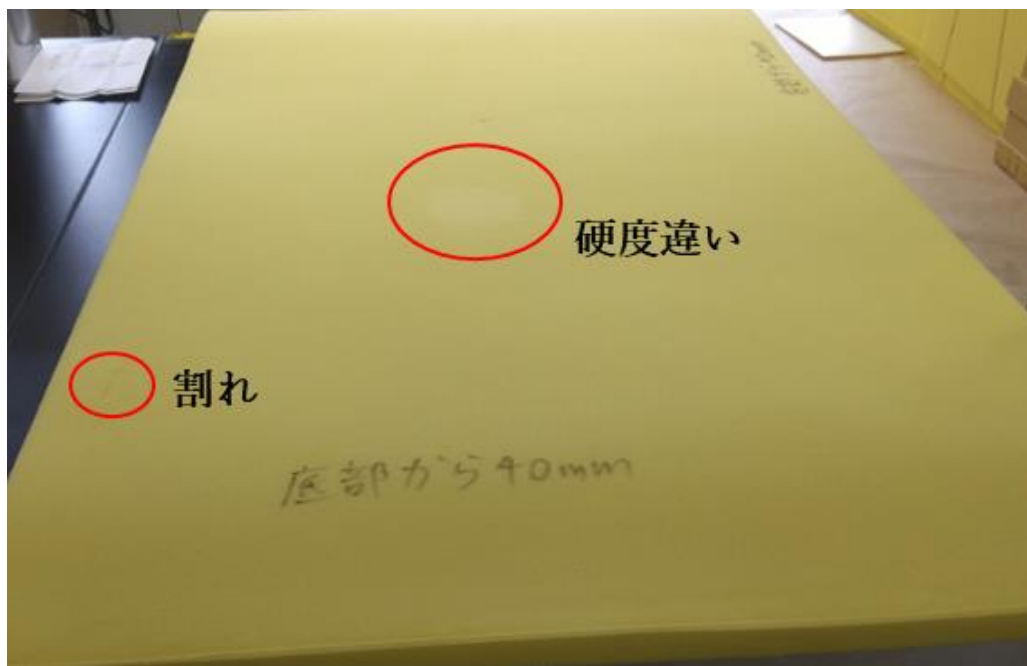


図 70 フォームブロックの割れ、硬度違い部位写真

分解・精製により得られた再生ポリオール及びアミン誘導体の一般性状分析については、4-3-2 に記載の通り通常の石油系バージンポリオールの分析項目及び分析方法に準じて行い、粘度、水酸基価、水分等の測定を行う。

本実証事業終了後の来年度以降も社会実装に向けて引き続きスケールアップでの再生ポリオール試作を実施し、回収率、純度の更なる向上に向けた条件調整（精製の最適化、ろ過及びろ過物の精製等）を行う予定である。

残課題となっている使用済みマットレスを用いたスケールアップ試製での再生ポリオール製造及びその再生ポリオールを用いたフォーム製造とマットレス評価等を継続して実施していく予定である。また、再生ポリオールの品質ブレに関しても複数回の試製を行うことにより明確化し、一般検査項目のスペックを明確化していく。再生ポリオールを用いたフォーム製造に関しても、フォーム製造委託先及びパラマウントベッド(株)と連携し、最適なフォーム種の選定、配合比率、配合調整等を実施しながら、社会実装に向けて取り組んでいく予定である。

2 年間の本実証事業により、社会実装時に考慮すべき技術的な事柄が明確になった。本実証事業終了後も関係各所と協力して、社会実装に向けて継続的に課題解決に取り組んでいく。

5-4. 検討結果及び考察（マットレス品質評価）

5-4-1. 評価概要（サンプル製品および製品評価項目）

再生ポリオールをポリオール中 20%混合し発泡したウレタンについてマットレスの製品状態にした場合の評価を実施した。発泡したウレタンは 1 種で、そのウレタンを使用している製品を 2 シリーズ×清拭タイプ・通気タイプ×91cm 幅・83cm 幅の計 8 製品製作（31 枚）を試作し、試験を実施した。製品はパラマウントベッド(株)販売製品 2 種であり「再生 PO マット①」「再生 PO マット②」と表現する。なお、「再生 PO マット①」は回収対象とした選定マット A と同一とし、「再生 PO マット②」は回収対象とした選定マット B とは異なる。理由は今回発泡したウレタンのバージン材使用ウレタンを選定マット B では使用していないためである。

評価項目は大きく分けて「顧客使用感」「強度」「その他」の3分類とした。「顧客使用感」においては医療・施設用および在宅介護用マットレスは患者様、ご利用者様の身体状況によって特に重要となる体圧分散性能である。褥瘡リスクが低い方には分散性能を低く、硬めでしっかりと起き上がりや立ち上がり時の安定性を確保できるマットレスである必要がある。逆に褥瘡リスクが高い方には分散性能を高くし体圧を低く保てるよう柔らかめのマットレスである必要がある。本節の評価では褥瘡リスクが比較的低い方向けの製品を評価対象としている。

「強度」については JIS S1102 住宅用普通ベッドのマットレスに関する項目に準じた一般的に「へたり」を評価する試験に加え、背中が上がるギャッチベッド動作への適用、および家庭用品品質表示法上要求される復元率 JIS K6400-4 について評価を実施した。

「その他」としてマットレスと合わせて使用されるシーツへの影響を見る評価、また、製品構造上接着を必要とするため接着力の確認を実施した。

5-4-2. 試験資保および基準

①体圧分布測定

被験者 : 1 名(体重 60kg 台男性)

対象製品 : 1 種 再生 PO マット②通気タイプ(洗浄前及び洗浄後)

※再生 PO マット①は再生 PO 混合発泡ウレタンが屈曲部位ではないため評価対象外とした

比較製品 : バージン材使用マット②通気タイプ(洗浄前)

測定面 : ソフト面

姿勢 : 仰臥位および指定背上げ姿勢

測定 : 体圧測定器により臀部の最大体圧を測定

基準 : バージン材使用マットと比較し著しく体圧値の変化がないこと

②繰返し圧縮耐久試験

対象製品：4 種 再生 PO マット①清拭タイプ・通気タイプ、再生 PO マット②清拭タイプ・通気タイプ

比較製品：3 種 バージン材使用マット①清拭タイプ・通気タイプ、バージン材使用マット②通気タイプ

評価面：ソフト面およびハード面。片面から繰返し圧縮を再生 PO 使用部位に実施

製品状態：再生 PO マット①②共に清拭タイプは洗浄前品のみ、通気タイプは洗浄前品および洗浄後品 バージン材使用マット①は洗浄前、後、バージン材使用マット②は洗浄前

※バージン材使用マット①②は製品開発時データを使用

試験方法：JIS S1102 10.1 マットレス及びボトムの試験方法

基準：パラマウントベッド(株)規定値以下であり、かつ再生 PO マットのへたり量に比較し著しくへたり量が大きくなること

③繰返し屈曲耐久試験

対象製品：2 種 再生 PO マット②清拭タイプ・通気タイプ

※再生 PO マット①は再生 PO 混合発泡ウレタンが屈曲部位ではないため評価対象外とした

製品状態：清拭タイプは洗浄前品のみ、通気タイプは洗浄前品および洗浄後品
ソフト面が屈曲内側の場合とハード面が屈曲内側の場合を実施

試験方法：パラマウントベッド(株)オリジナル法

基準：破損なきこと

④復元率

対象製品：1 種 再生 PO マット②通気タイプ

※再生 PO マット①は臀部ではないため評価対象外とした

製品状態：通気タイプの洗浄前品

試験方法：JIS K6400-4 6.2 B 法（定変位法）

基準：93%以上（バージン材使用マット②通気タイプ以上）であること

⑤生地変色確認試験

対象製品：再生 PO ウレタン（製品ではなくウレタン単体）

試験方法：パラマウントベッド(株)オリジナル法 試験布への変色確認

基準：パラマウントベッド(株)規定値以下の変色であること

⑥接着性

対象製品：再生 PO ウレタンと接合する材料 2 種

試験方法：パラマウントベッド(株)オリジナル法

基準：剥がれなきこと

5-4-3. 結果及び考察

全ての項目で基準を満足している事を確認した。結果の一覧を表 22 に記載する。

表 22 製品試験結果一覧

①体圧分布測定

項目						結果詳細			
						再生POマット①		再生POマット②	
						清拭タイプ	通気タイプ	清拭タイプ	通気タイプ
顧客使用感	体圧分布測定 ※平均体重のみ 測定は臀部体圧の最大値を測定 数値は体圧値の対ﾊﾞｰｼﾞﾝ増減比率	PB法	洗浄前	仰臥位	○				11%
				背上げ	○				13%
			洗浄後	仰臥位	○				23%
				背上げ	○				-11%
強度	繰返し圧縮耐久試験 圧縮は当該箇所で行実施し数値は へたり量の対ﾊﾞｰｼﾞﾝ増減比率	JIS S1102	洗浄前	ソフト面	○	11%	-4%	5%	26%
				ﾊｰﾄﾞ面	○	7%	5%	15%	14%
			洗浄後	ソフト面	○		-2%		15%
				ﾊｰﾄﾞ面	○		5%		16%
	繰返し屈曲耐久試験	PB法	洗浄前	ソフト面	○			破損なし	破損なし
				ﾊｰﾄﾞ面	○			破損なし	破損なし
			洗浄後	ソフト面	○				破損なし
				ﾊｰﾄﾞ面	○				破損なし
	復元率	JIS K6400-4	－	－	○				復元率ﾊﾞｰｼﾞﾝ材 (93%)以上
	その他	生地変色確認試験	PB法	－	－	○	基準値内		
接着性		PB法	－	－	○	剥がれ無し			

バーजन材使用マット②と比較し姿勢や洗浄条件により-11%～+23%のバラツキが見られた。ウレタンそのものの硬さの規格値は 20%程の許容範囲があるまた対象製品である再生 PO マット②は体圧分散性能を最大特長とする製品ではなく顧客の要求する製品としての差を感じる事はなく、同等であると判断する。

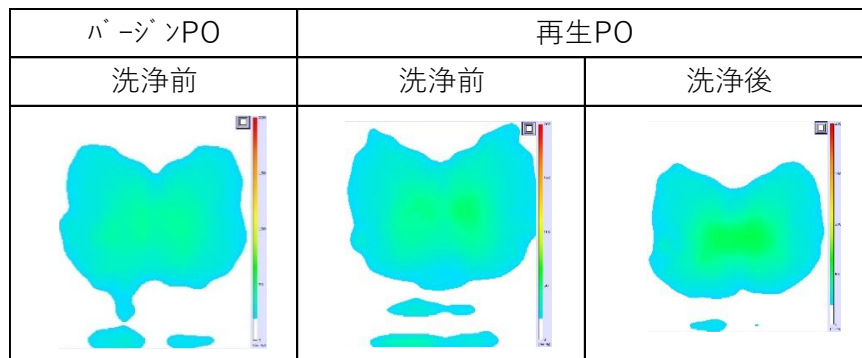


図 71 再生 PO マット②仰臥位体圧分散図

②繰返し圧縮耐久試験

バージン材使用マット①②と比較し洗浄条件およびソフト面、ハード面で-4～+26%のへたり量の変化があった。へたり量は社内規格値以下(JIS S1102で定められる「40mm以下」に比べ小さい社内規格値を設定)であった。バージン材使用マット①②との差は数 mm 単位の差であり明確な低下は確認されず同等であり合格と判断する。

③繰返し屈曲耐久試験

全ての条件で屈曲部付近の破損等は見られず合格と判断する。ただし洗浄後条件において試験後に再生 PO ウレタン部分の変形からの復元速度がバージン材使用マット②よりも明らかに遅い現象が見られた。

④復元率

バージン材使用マット②の開発時データ 93%以上の復元率である事が確認できたため合格と判断する。

⑤生地変色確認試験

社内規定値以下であり合格と判断する。

⑥接着性

いずれの接着部もはがれず合格と判断する。

全ての試験において合格しバージン材使用マット①②と同等である事が確認された。ただし繰返し圧縮耐久試験において洗浄後条件においては再生 PO ウレタン部の復元速度がバージン材使用マット②と比べ明らかに遅い現象が確認された。なお、時間が経つとバージン材使用マットと同様に復元するため特性として本評価にて実施した試験の数値では確認ができなかった。短期使用においては製品としても問題は無いことが一連の試験から確認されたが、メンテナンスや使用・保管の温湿度環境による影響を受

ける可能性が示唆されるため今後の追加確認が必要な事項とした。

6. LCA の検証・評価

6-1. 検討概要＜令和 5 年度活動内容 参考情報のため記載＞

本事業を通じて、使用済みマットレスのケミカルリサイクルを行うにあたり、その製品やサービスにおける原料調達から、廃棄・リサイクルに至るまでのライフサイクル全体を通しての環境負荷を定量的に評価する手法（ライフサイクルアセスメント。以下、LCA と呼ぶ）は、CO₂ をはじめとする温室効果ガスの排出源を特定し、それに対する有効な施策を評価するうえで極めて重要である。LCA を実施するうえでは、バウンダリや、機能単位、ケース・シナリオといった前提条件を設定したうえで、現在の活動量の把握を行い、各工程での GHG 排出量を把握することが重要となる。

本事業ではエネルギー起源・非エネルギー起源といった切り口で、ライフサイクル（回収—解体—リサイクル（一部廃棄）—原料製造—製品製造）を定義し、ライフサイクル上の 1 次データ把握を行う。また、把握した各種インベントリデータを活用し、ライフサイクルを通じケミカルリサイクルを実施した場合の CO₂ 排出量の評価を行う。さらに、ベースラインとなることが想定されるバージン材を使用し焼却廃棄を行うマットレスライフサイクルと比較した際の CO₂ 排出量削減効果についても試算を行う。

6-2. 検討方法＜令和5年度活動内容 参考情報のため記載＞

リサイクル性を考慮したCO₂のライフサイクル検証・評価を行うにあたり、前提となる条件設定の考え方は表23に示す通り。

表 23 ライフサイクル検証・評価における条件設定

項目	設定方法	設定条件
評価対象製品	プラスチックを代替する素材	廃棄マットレスからのケミカルリサイクル（グリコール分解）により製造したポリオール（再生材）
ベースライン	比較対象として代替されるプラスチック	石油化学由来のポリオール（バージン材）
機能単位	評価対象製品の用途を想定し、用途製品の機能を特定し、その機能のある単位で定量化したもの	マットレス向けポリウレタン製造時に必要となる原料ポリオール[kg]

評価範囲に関して、対象製品・サービス等の排出量とベースライン排出量の定量化においては、原則として、それぞれに関わる製品・サービス等のライフサイクル全体が算定範囲となる。一方、日本LCA学会「温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン」より「削減効果を発揮する最終製品等とベースラインが、同一の段階やプロセスを有しており、温室効果ガス排出量に差がないと認められる場合には、それらの算定を省略してもよい。」との記載に倣い、一部のプロセスを評価対象外と設定した。



図 72 ライフサイクル検証・評価における評価範囲

ライフサイクル検証・評価においては、可能な限り、フォアグラウンドデータ取得に努めるが、意思決定者のコントロール下でない（もしくは影響を及ぼすことが難しい）プロセスのデータ（例：自社が購入する系統電力の発電や汎用的な素材の製造時のインベントリデータ）に関してはバックグラウンドデータとして、公開情報を元にデータを収集した。使用したバックグラウンドデータ源とその理由を表 24 に記載する。

表 24 バックグラウンドデータ源

段階	プロセス	使用データ源	LCA の 目 的 と の 整 合 性 (左記データ源使用の理由)
原材料調達・生産段階	ポリオール製造	IDEA Ver.3	本データベースはプロセスデータによる積上げインベントリデータの作成を行っている。ベースラインと設定した従来の化石由来化成品製造におけるバックグラウンドデータとしての妥当性があると判断したため。
廃棄・リサイクル	使用済みマットレスの前処理・ケミカルリサイクル	温室効果ガス算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧	本データベースは、環境省が主導する温室効果ガス算定・報告・公表制度におけるバックグラウンドデータとして活用されており、妥当性があると判断したため。
廃棄・リサイクル	拠点間輸送	貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法	本データベースは、経済産業省が主導する省エネ法におけるバックグラウンドデータとして活用されており、妥当性があると判断したため。

また、エネルギー起源 CO2 と非エネルギー起源 CO2 の整理を表 25 に示す。

表 25 エネルギー起源・非エネルギー起源 CO2 の整理

項目	定義	例
エネルギー起源CO2	熱や電気、動力を目的として、燃料を燃焼することで発生する二酸化炭素と定義。	化石燃料（都市ガス、重油、ガソリン、軽油等）、電気、蒸気
非エネルギー起源CO2	工業プロセスにおける化学反応や廃棄物の処理などで発生する二酸化炭素と定義。	廃棄物の焼却処分

【CFP の評価】

実証事業にて取得する工程別のフォアグラウンドデータを図 73 に示す。本工程は図 72 でいうところの「廃棄・リサイクル工程」に該当する。実証段階では主要な 2 か所からの使用済みマットレスを回収し、SBS ロジスティクスにて使用済みマットレスを集積する。その後リバー船橋事業所にて手解体を実施した後、リバー関連会社の富士車両にてマットレスの破碎・光学選別・減容化を実施した。減容化されたウレタンフォームは三井化学のラボ設備にてケミカルリサイクルの試験を実施した。なお、ケミカルリサイクルの実証サイトがまだ未確定のため、今回は前年度同様の条件であるケミカルリサイクルのサイトを静岡県（仮）と設定して CFP 算定を実施した。

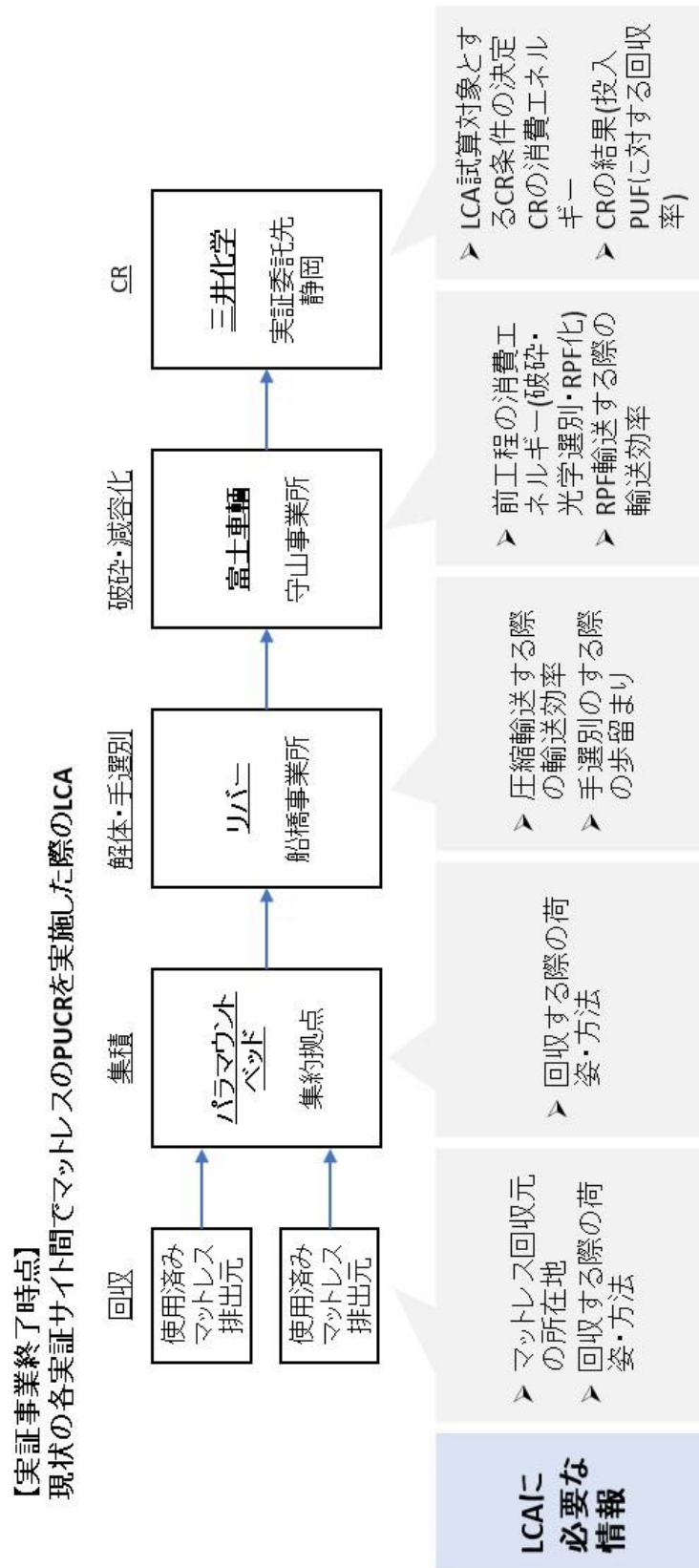


図 73 実証事業における工程と取得するフォアグラウンドデータ

6-3. 検討結果及び考察

【事業性（市場規模）の評価】

本廃棄マットレスのケミカルリサイクルを実装した際の CO2 削減効果を試算するにあたり、将来の事業規模を先に示す。実証事業終了時点においては、日本ウレタン工業協会より国内の介護用ベッドマットレスにおけるウレタン使用量は 1,500t/年であることから市場規模に設定した。シェア・販売量の算出においては、内、パラマウントベッド(株)の現時点で回収できている 50t/年を実証事業終了時点での販売量と設定した。

本事業の普及段階はパイロット実証や社会システム構築後の 2035 年と設定した。普及段階では介護用ベッドマットレスのみならず、通常の寝具及びその他軟質フォーム用途に適用範囲の拡大を想定している。軟質フォーム需要は 112,000t/年（内、マットレス等の寝具は約 1.45 万 t）であり市場規模に設定した。また、販売量は全国で発生している製造工程端材約 5,000t も加えた 5,500t/年と設定した。

表 26 市場規模と獲得シェア

	(A) 市場規模	(B) (A) における獲得シェア	(C) 年間販売量 ((A) × (B))
単位	ウレタン重量 (t)	(%)	ウレタン重量 (t)
実証事業終了時点	1,500	3.3%	50
普及段階 2035 年時点	112,000	4.9%	5,500

【CFP および CO2 削減効果の評価】

機能単位である「マットレス向けポリウレタン製造時に必要となる原料ポリオール 1 kg」を得るためのマテリアルバランス・及び規格化された CO2 排出量を図 74 に示す。各種工程の収率に基づくと、ポリオール 1 kg を得るために必要な廃マットレスは 7.544kg となり、本物量の輸送・処理に関わる CO2 排出量を試算した。

本結果を「エネルギー起源/非エネルギー起源での整理」「ベースラインとの比較整理」及び「ベースラインからの CO2 削減量」といった軸で整理した結果を図 75 に示す。

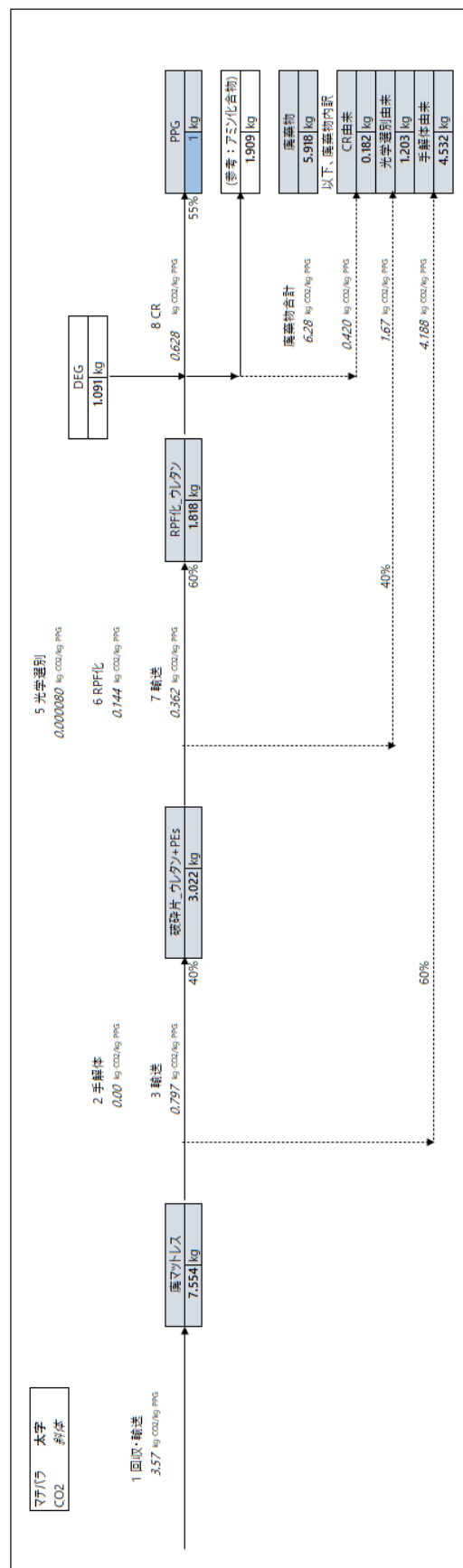


図 74 ポリオール 1 kg を得るためのマテリアルバランスと工程別 CO2 排出

(単位)	①評価対象製品						②ベースライン						③削減量 (②-①)						
	原材料 設備・生 産	生産	流通	使用	廃棄・リ サイクル	合計	原材料 設備・生 産	生産	流通	使用	廃棄・リ サイクル	合計	原材料 設備・生 産	生産	流通	使用	廃棄・リ サイクル	合計	
エネルギー 起源	-	-	-	-	5.5	5.5	6.3	-	-	-	-	6.3	6.3	-	-	-	-	-5.5	0.8
非エネルギー 起源	-	-	-	-	6.3	6.3	-	-	-	-	17.4	17.4	-	-	-	-	11.2	11.2	
合計	-	-	-	-	11.8	11.8	6.3	-	-	-	17.4	23.7	6.3	-	-	-	5.7	11.9	



エネルギー起源：再生ポリオール1tonあたりのCO2排出削減量：0.8[t-CO2/t-ポリオール]
 非エネルギー起源：再生ポリオール1tonあたりのCO2排出削減量：11.2[t-CO2/t-ポリオール]
 合計：11.9 [t-CO2/t-ポリオール]

図 75 工程別 CO2 排出原単位とベースラインからの削減量

エネルギー起源といった視点で見ると、CO2 排出削減量はポリオール 1 t 当たり 0.8t となったが、非エネルギー起源も含めた合計値でみると、ポリオール 1 t 当たり 11.9t となった。ケミカルリサイクルによってマットレスの焼却処分の一部が回避され、省エネルギーなケミカルリサイクル技術でポリオール製造を代替したことにより、ライフサイクルを通じた CO2 の削減効果が確認された。なお、本年度実証結果を踏まえ CR 歩留まりを昨年度設定値の 45% から本年度は 55% へ更新したことに伴い、CO2 排出量削減効果の向上がみられた。(昨年度はポリオール 1 t 当たり 8.5t)。

【工程別 CO2 発生割合の分析】

LCA を実施するうえで、将来のホットスポット分析を行うために、対象フローにおいてどの工程で CO2 が多く発生しているかを確認した。結果を以下に示す。見て分かる通り、今回のフローでは各工程に伴い発生する廃棄物処理による CO2 排出が全体の約半分を占める結果となった。現状、廃棄マットレスのうち、ウレタン部分のみケミカルリサイクル対象とし、その他の部分（カバーやマットレスの一部に使われているポリエステル繊維）については、廃棄処分としている。

今後はポリエステルについても有効活用（ケミカルリサイクルに限らずマテリアルリサイクル等）することで本事業全体の CFP 低減を図ることを目指す。

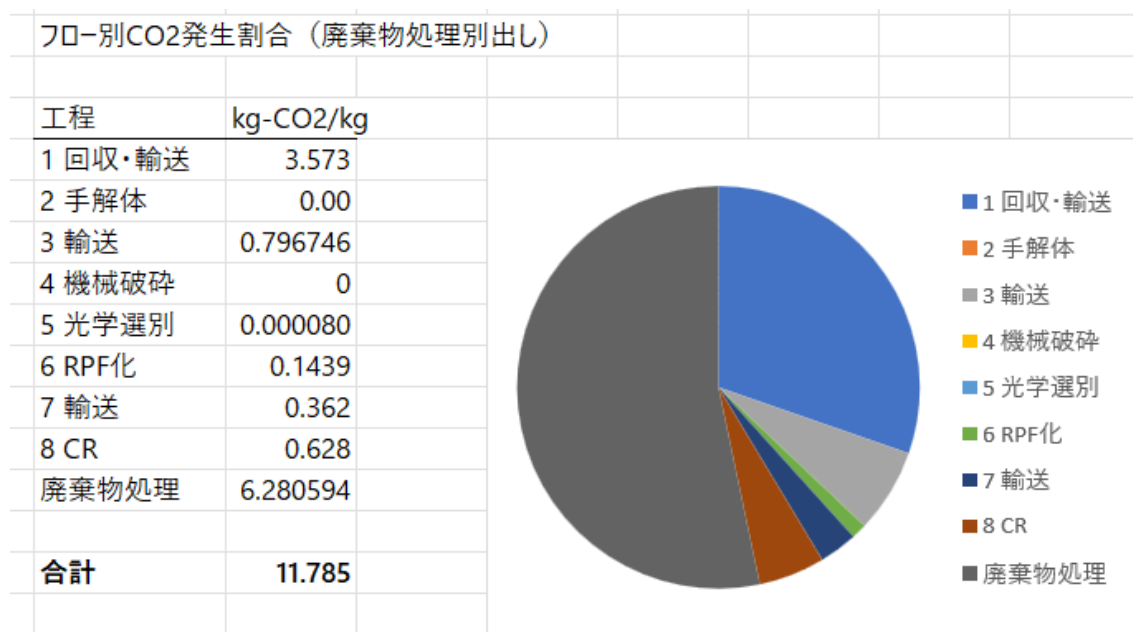


図 76 工程別 CO2 排出割合

【事業化段階の CO2 削減効果】

【事業性（市場規模）の評価】で記載した、将来の事業化段階における CO2 削減効果を試算した。結果を表 27 に示す。

表 27 CO2 削減効果

CO2 削減量		エネルギー 起源	非エネルギー 起源	合計
実証事業 終了時点 (t-CO2/年)	原材料調達・生産	172	0	172
	生産	0	0	0
	流通	0	0	0
	使用	0	0	0
	廃棄・リサイクル	(151)	307	156
	合計	21	307	328
普及段階 2035 年時点 (t-CO2/年)	原材料調達・生産	18,937	0	18,937
	生産	0	0	0
	流通	0	0	0
	使用	0	0	0
	廃棄・リサイクル	(16,649)	33,786	17,137
	合計	2,287	33,786	36,073

実証事業終了時点ではその規模がウレタン重量 50t と少ないことから CO2 削減効果も年間 330t 弱にとどまったが、普及段階の 2035 年ではウレタン重量 5,500t となるため、CO2 削減効果は約 36,000t となることが期待される。

7. 社会実装に向けた課題解決策検討

7-1. 物量確保

事業化に向けて物量確保はスケールメリットによるコスト削減の観点から最重要課題である。物量確保においては、回収量の増大とともに販売量の増大・マーケット獲得が求められる。

まず、回収量の増大について述べる。現状、確保の確度が高いのは①パラマウントベット(株)による広域認定制度を利用した自社回収スキーム、②リバー(株)による自社回収スキームの2つである。

この2つのスキームによって、日本全国で約 495 t / 年、関東圏内だけで考えると約 287 t / 年の回収量となる。

内訳は以下の通りである。

①パラマウントベット(株)による回収スキーム

パラマウントベット社による広域認定制度を利用した自主回収スキームでは全国で約 30 t / 年、関東圏内に限っては約 10 t / 年の回収が見込まれる。

②リバー(株)による回収スキーム

リバー(株)は産業廃棄物の中間処理を業としているため、主に関東に 16 ある事業所には日々、使用済みウレタンマットレスが入ってきている。この使用済みウレタンマットレスのうち、契約上把握できるものは約 277 t / 年であり、窓口業務を行う上で量を把握できる物も含めると、全国で約 465 t / 年である。

また、その他の回収ルートとしては③ホームセンター等の量販店による店頭回収した廃棄マットレスを集めるスキーム、④ホテル・旅館等の宿泊施設から廃棄マットレスを回収するスキーム、⑤東京都の粗大ごみとして出されたベットマットレス回収が考えられる。

そこで以下、リバー(株)で対応可能な関東圏内での回収可能性を検討してみた。

③ホームセンタースキーム

ホームセンター等の量販店において、マットレスを販売している店舗では販売したマ

ットレスと同種同様同数のマットレスを、販売時に引き取りサービスを行っている場合がある。そこで、この様な量販店が店頭回収したマットレスを集める方法である。

マットレスの店頭回収を行っているホームセンター4社からの回収量を一部店頭でのヒアリングを基に年間の回収量を推測したのが表28である。

表 28 ホームセンターからのマットレス店頭回収量

	A社	B社	C社	D社	計
マット枚数(スプリング有)	46,008	20,736	8,424	1,728	76,896
マット枚数(スプリング無)	5,112	2,304	936	192	8,544 枚
ウレタン量(スプリング有)	92,016	41,472	16,848	3,456	153,792
ウレタン量(スプリング無)	30,672	13,824	5,616	1,152	51,264
ウレタン量合計	122,688	55,296	22,464	4,608	205,056 kg

④宿泊施設スキーム

ホテル・旅館等の宿泊施設では定期的にマットレスを交換している。そこでリバー(株)で対応可能な関東圏内の宿泊施設の客室数から凡その回収量を検討した。

表 29 関東圏内の宿泊施設からのマットレス回収量

	客室数	ベット数	ウレタン量(kg)
茨城	15,400	15,400	30,800
栃木	10,735	10,735	21,470
群馬	12,685	12,685	25,370
埼玉	17,214	17,214	34,428
千葉	30,761	30,761	61,522
東京	102,246	102,246	204,492
神奈川	32,183	32,183	64,366
計	221,224	221,224	442,448

- ・1部屋＝1ベット＝1マットレスとして計算
- ・全量スプリング有（ウレタン量2kg）として計算

表 30 予想年間回収量

	客室数	ベット数	ウレタン量(kg)
茨城	1,540	1,540	3,080
栃木	1,074	1,074	2,148
群馬	1,269	1,269	2,538
埼玉	1,721	1,721	3,442
千葉	3,076	3,076	6,152
東京	10,225	10,225	20,450
神奈川	3,218	3,218	6,436
計	22,123	22,123	44,246

※10 年毎に入れ替えを行うと想定して計算した。

⑤東京都粗大ごみからの回収

令和 5 年版清掃事業年報（東京二十三区清掃一部事務組合、

[https://www.union.tokyo23-](https://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/jigyo/renraku/kumiai/shiryo/documents/r5gigyounennnpou_1.pdf)

[seisou.lg.jp/jigyo/renraku/kumiai/shiryo/documents/r5gigyounennnpou_1.pdf](https://www.union.tokyo23-seisou.lg.jp/jigyo/renraku/kumiai/shiryo/documents/r5gigyounennnpou_1.pdf)）によると、東京 23 区内でのベットマットの廃棄数は 151,273 個（枚）、マットレスは 145,977 個（枚）となっている。

ベットマットは大半がスプリング有の物であるから、上記③④と同じく使用されているウレタン量を 1 枚あたり、2 kg とすると約 303 t となる。また、マットレスに関してはウレタン以外の素材でできているものや、厚さも様々であることから約 120 t と想定した。

上記、①～⑤を合計すると関東圏内での年間マットレス発生量は、ウレタンの重量として約 959 t となる。

以上のことから、回収の可能性量としては約 959 t あることが確認できたが、③～⑤については引き続き回収方法についても検討したい。

販売量の増大について、ユーザーニーズを確認した。「マットレスにリサイクル材を使用する事」には好意的。また、本年度試作した製品自体はバージン材品と遜色なく区別もつかない仕上がりのため（洗浄での懸念は今後要確認事項）、品物の出来栄えも受け入れの障害は無い。一方で、ユーザーは価格の感度が高く、高い価格を払ってまでリサイクル品を入手したいと考える方は少ない。販売量拡大については、バージン材と同程度、または 300～400/kg 円高い程度の価格水準を満たすことが前提であり、引き続き価格低減に向けた検討を進める。その他、品質安定性等の技術的課題の解決も求められる。

7-2. 経済性

本年度の量産化試験（第3章）の結果からブラッシュアップした現在のケミカルリサイクル（CR）プロセスに従い、委託先に外部委託して CR を行う場合と、三井化学（株）に新規設備を導入する場合とに分け製造コストの概算を行った。外部委託と新規設備導入の切替えに関しては、初期は小回りが利く委託先の設備を利用することでコストダウンおよび早期の社会実装を図ることとした。また、三井化学（株）または委託先の既存設備と、新設する設備のサイズ・能力に関して検証を行い、年間製造量が 30t を超える場合には三井化学（株）に設備を新規導入することが生産能力及び製造コストの観点から好ましいとの判断に至った。

表 31 に、リバー（株）から提供される前処理された廃ポリウレタンフォーム（PUF）の価格が 930 円/kg、②345 円/kg で提供された場合、また参考として、PUF の価格を考慮しない（1 円/kg）場合の再生ポリオール価格がバージン材の価格（R7 年 1 月時点）と比較して、どれくらい割り増しになるかの概算を示す。

表 31 再生ポリオール概算価格

生産量 (t/年)	製造方法	価格概算（倍/バージン材価格）		
		(ア)PUF 930 円 /kg	②PUF 345 円/kg	参考：PUF 1 円/kg
1～	外部委託	80	76	74
30～	新規設備導入	24	20	18
300～	新規設備導入	12	9	7
1000～	新規設備導入	8	5	3

表 31 中において、再生ポリオールの製造コストのうち大きな割合を占める要因は、生産量が 300t/年以下では固定費のうち人件費や用役費、設備修繕費である。一方、製造量が 300t/年以上になると、CRに必要な原料費（PUF、分解溶剤、ろ過助剤、洗浄溶剤）がコストに影響を与える割合が増えることが明らかになった。さらに、製造量 1,000t/年以上の場合は PUF の価格が再生ポリオール価格の 60～65%を占めることが分かった。

コストに関しては、製造方法や規模（設備サイズや製造量）、使用量等が全く異なるバージン材と、同等の品質で同等の価格にすることは個社の努力だけでは困難と考えられ、リサイクル材の普及にはエンドユーザー側の意識改革、国からの規制または補助が必要と考えられる。しかしながら、エンドユーザーが受け入れられる現実的な価格に近付ける努力は必要であるため、以下の観点からコストダウンを検討する余地がある。

- ① 生産量増加による固定費の削減
- ② CR のプロセスの更なる最適化・技術向上により、PUF 以外の原料を安価なものへ代替もしくは使用量を削減することで、原料費を低減
- ③ PUF の前処理方法及び必要設備の最適化を図り、PUF 前処理にかかるコストを

低減

上記①に関しては、本実証検討開始時期から明らかな課題であるため、今後も引き続き検討を継続する。一方、②③に関しては本年度の実証の中で新たに明らかになった課題であるため、来年度以降も注力して検討する。特に③に関しては、現在リバー（株）が設計した設備の処理能力は、PUF として最大 200t/年程度である。スケールメリットを得てコスト低減をかなえるために初期の目標とする再生ポリオール生産量 1,000t/年に必要な PUF 量は 2,000t/年であり、前処理能力の観点からも更なる検証が必要である。導入設備のコストダウンと同時に、適切な処理能力を有する設備について、検討を行う。

現時点では、原料である PUF の価格を仮の 1 円/kg とした参考値でも、CR にかかるコストはバージン比で 3 倍以上となる試算である。スケールメリットをもってしても、個社の企業努力だけではバージン材と同等価格にまで低減することは難しいことが明らかになった。コスト削減の努力は引き続き行うが、顧客にとってのリサイクル材の価値と受け入れられるコストの上り幅については、一概に決められるものではなくそれぞれの顧客にとって異なるものであるため、引き続きヒアリングを行う必要がある。顧客のリサイクル意識を高める取り組みが必要となる。先述の通り、再生材使用率などに準ずる国からの規制や補助があれば、社会普及は急速に早まると期待する。

広域的な回収を目指すうえで、回収拠点・前処理拠点をどこに設置するかはコスト・二酸化炭素排出量の観点から重要である。

回収のパターンとしては 2 つある。1 つは直接解体・破壊・選別・減容化拠点へ搬入するパターンともう一つは集約拠点を經由して解体・破壊・選別・減容化拠点へ搬入するパターンである。前者は輸送が 1 回で済むがベッドなども含めて回収しなければならないため選定マットレスの選定が困難であるため現実性が乏しい。そのためウレタンのみを抽出搬送でき社会実装の可能性が高い集約拠点を經由する方法を想定している。具

体的には、パラマウントベッド広域認定の回収拠点である京浜島を集約拠点とした。

前処理拠点については、回収の集約拠点を設けることから最も優先順位が高い1箇所

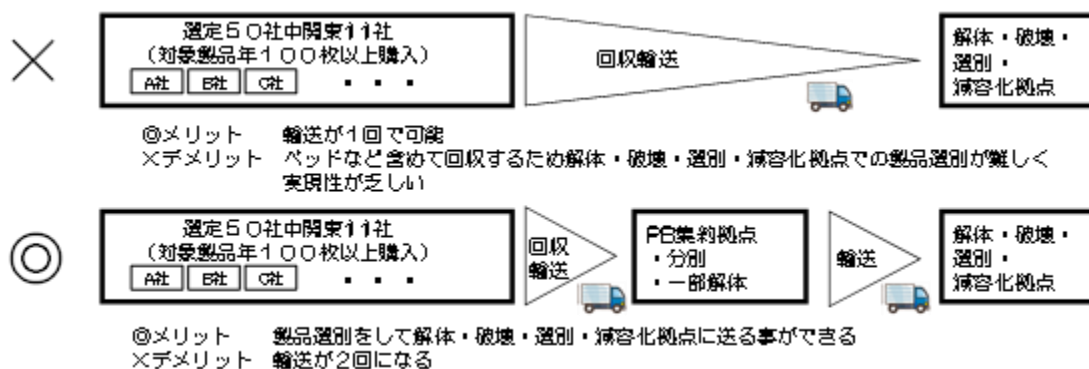
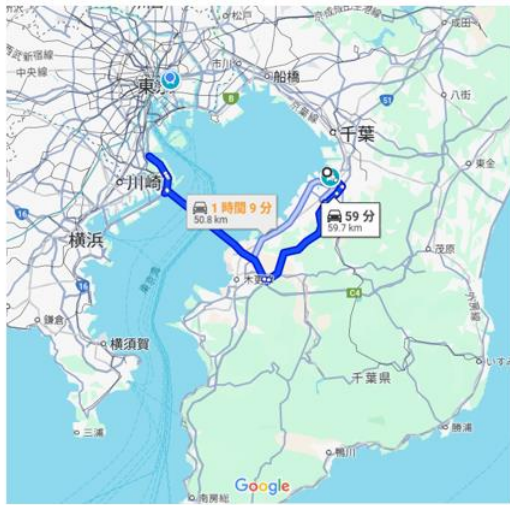


図 77 集約拠点設置可否の比較

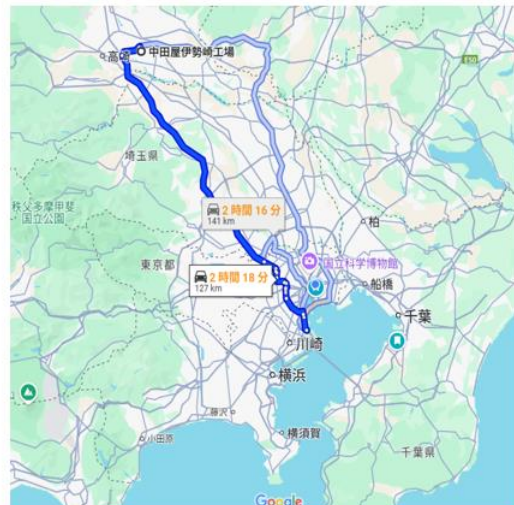
に前処理設備を設置することが望ましい。1拠点のみでは回収量が処理量を上回る場合、前処理設備を優先順位が高い他拠点到追加する必要がある。前処理設備を「千葉縣市原市八幡海岸通」「伊勢崎事業所」「埼玉県加須市栄」及び、CR 拠点到設置した場合の計4パターン（前処理拠点是1箇所）について、輸送における二酸化炭素排出量の試算、コストシミュレーションを実施した（表 32）。前処理設備を回収拠点到設置することは敷地スペースや保有者権限の観点から非現実的であり、試算の対象外とした。

各拠点的特徴は下記である。

- ・千葉縣市原市八幡海岸通：リバー(株)の旗艦工場でもある市原事業所に隣接。また最大の排出場所である東京都内からの輸送効率も鑑み前処理設備を設置。
- ・リバー(株)伊勢崎事業所：リバー(株)事業所内で小型破碎機の導入を積極的に検討しており、本事業と親和性が高い事業所であることから前処理設備を設置。
- ・埼玉県加須市栄：関東の中心は埼玉県加須市であることから、埼玉県加須市栄にあるリバー(株)事業予定地に前処理設備を設置。
- ・CR 拠点：大牟田工場（福岡県）



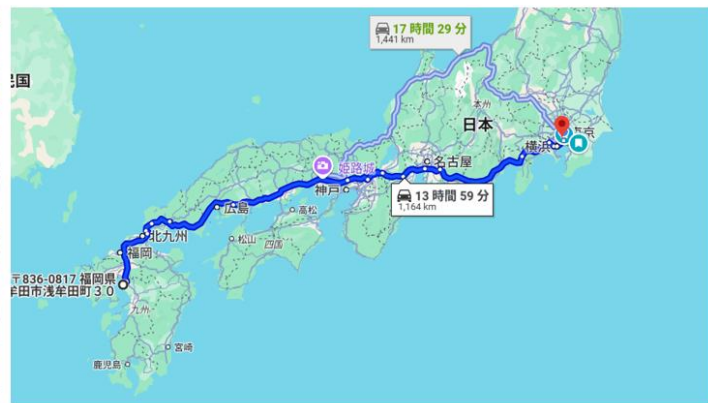
千葉県市原市中央区築地5丁目付近の倉庫



群馬県伊勢崎市宮子町



埼玉県加須市米付近の倉庫



福岡県大牟田市浅牟田町

図 78 回収拠点から前処理設備へ輸送する際の経路

表 32 前処理設備を各拠点に設置した場合のコストシミュレーション

前処理設備場所	賃料	回収拠点⇒ 前処理拠点		前処理拠点⇒ CR 拠点		輸 送 コ スト計
		輸 送 距 離	コスト	輸 送 距 離	コスト	
千葉県市原事業 所	2,780 万円 /年	51km	135 円 /kg	1,210km	65 円/kg	200 円 /kg
群馬県伊勢崎事 業所	1080 円 /年	127km	210 円 /kg	1,162km	62 円/kg	272 円 /kg
埼玉県加須事業 所	900 万円 /年	93km	178 円 /kg	1,225km	65 円/kg	243 円 /kg
CR 拠点	1,200 万円 /年	1,159km	1317 円 /kg	0 km	0 円/kg	1,317 円 /kg

各ケースの二酸化炭素排出量については、経済産業省・国土交通省「物流分野のCO₂ 排出量に関する 算定方法ガイドライン」、輸送形態を考慮しうえて、回収拠点から前処理拠点は 0.906kgCO₂/km、前処理拠点から CR 拠点は 0.281kgCO₂/kmとし計算した。再生ポリオールの一定製造重量に対して排出量を計算する場合、厳密にはトラック最大積載量と最大積載体積を考慮した計算となる（回収拠点⇒前処理拠点への輸送回数と前処理拠点⇒CR 拠点への輸送回数が必ずしも同じになるとは限らない）が今回は輸送回数が同じとなると仮定し、各距離に対して距離当たりの排出量を掛け合わせ、それを単純に合計することで算出・比較した。計算結果は下記である。排出量は同程度であり、前処理設備設置場所はコストや実現可能性の観点から決定する。

千葉県市原事業所：386kgCO₂

群馬県伊勢崎事業所：441kgCO₂

埼玉県加須事業所：428kgCO₂

①賃料については、A:千葉縣市原市の拠点、B:リバー(株)伊勢崎事業所、C:埼玉県加須市栄の拠点、D:C R拠点である福岡県大牟田市の4か所を検討した。

A:千葉縣市原市の拠点

千葉縣市原市の拠点はリバー(株)の旗艦事業所でもある市原事業所が直線距離で500mほどの場所にあり、オペレーション面や残渣の処理で有利な事、また約1,500 m²とちょうどよい広さの建屋が見つかったことから検討の対象とした。

当該拠点は外部の所有者より賃借し賃料は年間2,780万円である。

B:リバー(株)伊勢崎事業所

リバー(株)伊勢崎事業所は群馬県伊勢崎市宮子町に位置し、産業廃棄物の中間処理施設である。よって新たに産業廃棄物処分の許可を取得しないで済む点や、本件事業用に専用破砕機を置くスペースの確保が可能な事から検討の対象とした。

当該拠点はリバー所有地であるが、専用ライン設置のため地価公示価格やその他の拠点の賃料を鑑み建屋賃料として年間1,080万円とした。

C:埼玉県加須市栄の拠点

埼玉県加須市の拠点は埼玉県加須市栄に位置し、リバー(株)加須事業所から直線距離で約

11kmの位置にあり、リバー(株)の所有地である。許可の取得は必要であるが、加須市は関東の中心であることから、今後関東圏内からマットレスを収集する事を鑑み、検討の対象とした。

当該拠点は更地のため、地価公示価格やその他の拠点の賃料を鑑み建屋賃料として年間900万円とした。

D:C R拠点

C R拠点は福岡県大牟田市浅牟田町に位置する三井化学(株)大牟田工場内に設置予定。そこで、前処理設備をC R拠点付近に設置した場合も検討の対象とした。

当該拠点は地価公示価格やその他の拠点の賃料を鑑み賃料は年間1,200万円とした。

次に②輸送コストについて検討した。輸送コストは再生ポリオール1kgあたりのコス

トを計算した。ウレタンマットレスの 52%がウレタンとして選別・固化され、選別・固化されたウレタンの 50%が再生ポリオールになるものとして計算した。

A:千葉県市原市の拠点

東京都大田区京浜島にある回収拠点より、マットレスの状態で千葉県市原市の拠点まで大型トラックを使用して輸送、千葉県市原市の拠点で選別・固化し、ペレットの状態です福岡県大牟田市浅牟田町にある C R 拠点まで大型トラックを使用して輸送した場合、合計 1,261km 移動し、再生ポリオール 1kg あたり 200 円の輸送コストがかかる。

B:リバー(株)伊勢崎事業所

東京都大田区京浜島にある回収拠点より、マットレスの状態ですリバー(株)伊勢崎事業所まで大型トラックを使用して輸送、リバー(株)伊勢崎事業所で選別・固化し、ペレットの状態です福岡県大牟田市浅牟田町にある C R 拠点まで大型トラックを使用して輸送した場合、合計 1,289km 移動し、再生ポリオール 1kg あたり 272 円の輸送コストがかかる。

C:埼玉県加須市栄の拠点

東京都大田区京浜島にある回収拠点より、マットレスの状態です埼玉県加須市の拠点まで大型トラックを使用して輸送、埼玉県加須市の拠点で選別・固化し、ペレットの状態です福岡県大牟田市浅牟田町にある C R 拠点まで大型トラックを使用して輸送した場合、合計 1,318km 移動し、再生ポリオール 1kg あたり 243 円の輸送コストがかかる。

D:C R 拠点

東京都大田区京浜島にある回収拠点より、マットレスの状態ですC R 拠点まで大型トラックを使用して輸送、C R 拠点で選別・固化し、そのまま C R 拠点で C R の原料として使用する場合、合計 1,159km 移動し、再生ポリオール 1kg あたり 1,317 円の輸送コストがかかる。

以上の事から、輸送コストのみをみれば千葉県市原市の拠点が再生ポリオール 1kg あたり 200 円と最も安価であるが、賃料は 2,780 万円/年と最も高価であり、コスト的に優れているとは言えない。

そこで輸送コストと賃料とをトータルで考えると、埼玉県加須市栄の拠点到前処理設備を設置するのが最もコスト的に優れていることになる。

一方でリバー(株)伊勢崎事業所は既に、産業廃棄物の中間処理施設であることから、新たに許認可を取得する必要がなく、時間的に優位である。また、コスト的にも埼玉県加須市栄の拠点と大差がないことから、現時点ではリバー(株)伊勢崎事業所が前処理設備の設置場所として最も適しているだろう。

もっとも、土地・建屋の賃料については地価公示価格やリバー(株)の他拠点を参考に算出したものであることから、検討を進めるにあたり、より具体的な金額を調査する必要がある。

最後に再生ポリオール 1kg あたりの③処理コストについても検討した。処理コストは、処理量によって変わってくることから上記A～Dの4拠点において年間(a)10t、(b):287t、(c):390t、(d) 570t 処理した場合の4つに場合分けし、処理コストの検討をした。

表 33 再生ポリオール 1 kg あたりの処理コスト

	10t/年	287t/年	390t/年	570t/年
A:市原市	22,059 円	1,341 円	1,024 円	931 円
B:リバー(株)伊勢崎	18,659 円	1,222 円	936 円	871 円
C:加須市栄	18,299 円	1,210 円	927 円	865 円
D:CR 拠点	18,899 円	1,231 円	943 円	875 円

まず、処理量(a)～(d)の理由は以下の通りである。

(a)処理量 10t/年の場合（交代無し、週 5 営業）

最小のケースとして年間処理量が 10t の場合を検討した。これは上記、パラマウントベット広域認定のスキームでの回収量が年間 10t と想定した場合である。

(b)処理量 287t/年の場合（2 交代制、週 5 営業）

次に年間処理量を 287t/年の場合を検討した。これは上記、年間 10t にリバー(株)で想定される最大の回収量である年間 277t を追加したものである。

(c)処理量 390t/年の場合（2 交代制、週 5 営業）

また、年間処理量 390t/年の場合も検討した。これは上記 287t/年に、量販店の店頭で回収されているマットレスを追加したものである。

(d)処理量 570t/年の場合（3 交代制、週 5 営業）

最後に年間処理量 570t/年の場合を検討した。これは現在想定している設備で処理できる最大量である。

また、上記③処理コストは②運送コストが含まれていないため、①～③を全て合計すると再生ポリオール 1kg あたりの金額は以下の通りとなる。

表 34 ①賃料②輸送コスト③処理コストの合計コスト

	10t/年	287t/年	390t/年	570t/年
A:市原市	22,259 円	1,541 円	1,224 円	1,131 円
B:リバー(株)伊勢崎	18,931 円	1,494 円	1,208 円	1,143 円
C:加須市栄	18542 円	1,453 円	1,170 円	1,108 円
D:CR 拠点	2,0216 円	2,548 円	2,260 円	2,192 円

以上の事から、Dの拠点を除き、輸送コストはAの拠点が若干安価であるが大差は無く、処理コストの占める割合が大きい事がわかる。また、処理コストは処理量を増加させれば低下する傾向にあるが、闇雲に増やすのは作業人員募集の困難さや、保管場所の関係から現実的でなく、390t/年又は 570t/年がターゲットとしてはベターであると考ええる。

上記金額だけをみればAの市原市の拠点が一番安価であるが、A～Cとで大差はない。一方でBのリバー(株)伊勢崎事業所は既に、産業廃棄物の中間処理施設であることから、新たに許認可を取得する必要がなく、時間的に優位であることから、現時点ではリバー(株)伊勢崎事業所が前処理設備の設置場所として最も適しているだろう。

将来の回収量は不確実性が高いこともあり、その回収量を仮置きした上で具体的な拠

点数や設備台数を述べる事は困難であるが、1 拠点での処理量が 390t～570t であることを踏まえると将来的な 1000t の回収に向けて、A の市原市の拠点、C の加須市栄の拠点と順次前処理施設を増やす事を想定している。なお、各拠点に処理ラインは 1 ラインを設置し、処理能力は同等の物になる。

もともと上記金額は純粹たる処理コストであり、マットレス使用者から徴収する「処分料」は含まれていない。通常、マットレス 1 枚につき 2,000 円/枚～3,000 円/枚「処分料」を徴収しているため「処分料」を考慮すれば収支としては改善され、上記金額がそのまま再生ポリオールの販売価格となるわけではない。

また、上記処理量の一部を「スプリングを使用したベットマットレス」の処理にあてればスプリング（鉄スクラップ）を売却することができ再生ポリオール販売価格の低減につながる。

そして土地・建屋の賃料については地価公示価格やリバー(株)の他拠点を参考に算出した物であることから、検討を進めるにあたり、より具体的な金額を調査する必要がある。

7-3. 実装までのステップ

実装までには、ソフト面とハード面の準備が必要となることが明確になった。スケジュールイメージを図 79 に示す。



図 79 スケジュールイメージ

まず、分別・破碎・減容化にかかる前処理工程では、リバー（株）が設備を導入する場合、廃棄物処理法に基づいて都道府県知事に許可申請を行う必要がある。計画書を元に申請を行い、許可取得後に設備導入を実施することになるため、まず許可取得に約 2 年、その後設備導入から運転開始までに 2 年を要する見込みである。

CR については、三井化学（株）が技術開発とともに設備導入を開始する。設備の製造開始から内製が可能になるまで約 2 年半の時間を要するが、その間は外部委託等で生産量を確保する予定である。また、再生ポリオールに不純物としてわずかに混入する、イソシアネート由来のアミン成分が新規化学物質となる可能性がある。新規化学物質としての登録する場合には約 2 年を要するが、初期の製造量においては少量化学新規化学物質、または低生産量新規化学物質としての届け出により対応可能となる見込みである。

製品開発について、パラマウントベッドは設備導入の必要はなく、再生ポリオールを用いたマットレスの製品開発を行うことができる。新製品の開発には約 1 年半を要する見込みである。一方、広域認定制度の変更申請に関しては、認可を得るまでに約 2 年を要する見込みである。この 2 つの取り組みは同時に行うことが可能であり、どちらも、三井化学（株）が再生ポリオールを製品として提供する際のスペックが固ま

った時点から開始することができ、最大 2 年後に変更申請が登録された段階から販売可能となる見込みである。

いずれのプロセスにおいても、技術・製品開発や設備導入といった、一般的な事業化のための準備に先立ち、各種法令対応に 2 年前後の時間を要することが、本実証事業の社会実装において、時間がかかる要因の一つとなっている。

7-4. 将来構想

初期の目標は 1,000t/年の再生ポリオール製造・販売であるが、将来的には医療・介護用マットレスにとどまらず、対象を一般家庭用マットレス(13,000t)、家具・他(28,100t)に拡大し、リサイクルすることを目指している。7-3 に記載の通り、まずはパラマウントベッドの広域認定制度活用による回収マットレス、および現在のリバー(株)がパラマウントベッド以外から回収するマットレスから社会実装を開始し、順次それ以外の用途へ拡大していきたいと考えている。

PUF 製品は、フォーム発泡メーカーが他社品と差別化するために、多種多様なポリオールやその他の添加剤を混合し、独自の組成の配合処方を用いて製造されている。そのため、廃棄物を無為に回収した市中回収品をそのまま CR すると、様々なポリオールの混合物となってしまう。この混合物となった再生ポリオールをフォーム発泡メーカーが安定した製品として使用するためには、成分の同定や品質安定化のプロセスが必要となるが、そのプロセスは更なるコスト増と二酸化炭素の削減効果低減を引き起こすと推測される。

これらを回避するためには、出自がある程度明確な使用済 PUF を CR し、製造者に戻すクローズドループを増やすことが理想と考えられる。

また、再生ポリオールを適用した PUF 製品はコスト増となるため、フォーム発泡メーカーだけでなくエンドユーザーの理解を得る必要がある。本実証事業のように、ブランドオーナーやエンドユーザーを巻き込んだスキームが必要である。

PUF の回収量と再生ポリオールの使用量はある程度対にして検討する必要があると考える。そのうえで将来的に物量を増やす案を図 80 に示す。

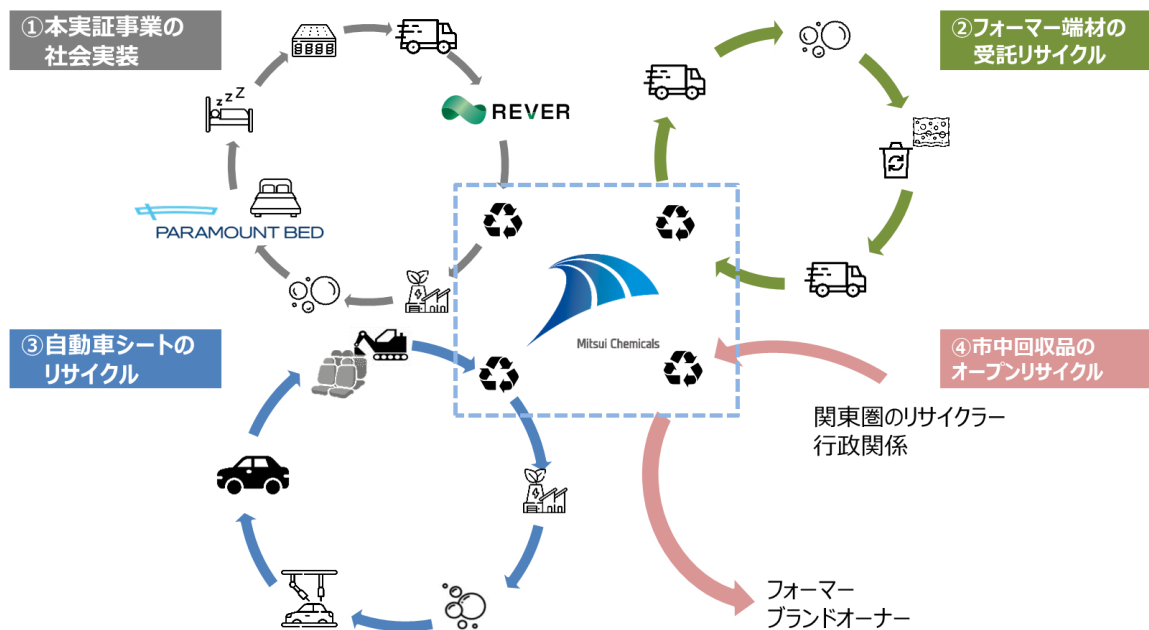


図 80 将来構想

まず、①の本実証事業の社会実装については、3社およびフォーム発泡メーカーや各社からの委託先を含めた現在のスキームで引き続き社会実装を目指す。次に②フォーム発泡メーカーが現在廃棄している PIR に関して、CR を受託し再生ポリオールを返すスキームの需要を、現在フォーム発泡メーカーにヒアリングしている。環境意識の高い数社が興味を示しており、対象とする PIR フォームの種類や再生ポリオールの必要量によって物量は異なるが、1,000t を視野に入れた物量が確保できる可能性が高い。

また、③自動車シートに関しては、現在対象としているマットレスとは配合処方が大きく異なるため、CR プロセスも異なっている。そのため一概に拡大することは難易度が高いものではあるが、自動車業界から CR に関する問い合わせもあり、業界としての意識の高まりを認識している。自動車業界、およびリサイクル業界と協力して、自動車シートのウレタン CR の可否を検討したいと考えている。自動車シートに関しては廃棄量・再生ポリオール使用量ともにマットレスとは桁違いの物量となるこ

とが予測される。また、先述の通り CR プロセスも異なるため、設備規模や能力に関しては、これらを視野に入れた設計を検討する。

そして最後に、④関東圏をはじめとするリサイクラーや行政のごみ処理施設などと協力し、クローズドループにこだわらないオープンループのリサイクルに拡大することを目指す。オープンループに関しては、①～③を実装する中で CR や使用済 PUF の選別の技術向上・コスト削減を進め、出自不明の混合物である廃棄物からもなるべく安定した品質、バージンに近い性能を有する再生ポリオールをバージンに近い価格で提供できるようになることと、エンドユーザー側の環境意識を高める働きかけなどが必要となる。①～③と比較して課題も多く実装までに時間を要すると考えられるが、ポリウレタンのサステナブル化を目指し検討を行う。

7-5. 今後取り組むべき課題と対応方針

事業化に向けた課題として、実証事業 2 年目にあたる令和 6 年度は、主に以下課題を認識した(表 35)。

表 35 本年度の成果と課題

課題の分類	事業化に向けた残課題	今後の方針
技術的課題	ウレタン種類によって 分解・精製方法のカスタマイズが必要	- 種類ごとの分解プロセス最適化 - 再生ポリオールの純度向上（精製方法検討） - アミン誘導体商用化に向けた検討
経済的課題	前処理プロセスにおける専用化設備および CR 設備の新規導入費用や稼働率の低さ等から、バージン材と比較	- スキームを拡大することで物量（回収・販売）を増加させ稼働率を向上させる。スキーム拡大・マーケット獲得のために、認知向上を図る広報活動を実施 1t スケールでの再生ポリオール製造試験におい

	して再生ポリオールの高い価格が高い 再生ポリオールを混合し発泡する工程の作業増加（確認および調整作業）により費用増加。	て、分解・ろ過のプロセスに改善余地が発見された。難易度は高いがコスト低減に繋がる可能性あり、解決に向けて検討を進める - 前処理に関しては、マットレスのカバー剥がしから粉碎・選別・減容化までを連続処理する設備の導入を検討 - CR 設備に関し、既存工場の用役設備・付帯設備の適用可否や適用に伴う改造工事にかかる費用を含めて最も経済性の高い設置場所への設備導入を検討 - 再生ポリオールの成分バラツキを小さくし、発泡工程前の確認作業と調整作業の削減に向け技術的検討
時間的課題	CR 内製化設備の導入期間、広域認定のプロセス（1 年半程度）、PB 販売までにかかる販売計画期間、など各プロセスに時間がかかる	- CR 設備の設計・導入に 2 ～ 3 年を要するため、初期は外部委託で対応 - CR 分解物の下層の化審法登録に約 2 年と登録費用を要する - PB 販売用開発・販売準備、回収体制および回収品収集期間含め 14～24 ヶ月必要

本事業年度では、スケールアップの試作により、再生ポリオールを用いたマットレスの試作と性能の評価を行うことができた。これにより、解体・分別・減容化といった前処理、CR プロセス、再生ポリオールを用いたマットレス試作といったそれぞれの工程において、技術的・経済的・時間的な課題を明確化するとともに、それぞれの工程でスケールアップを実施するうえでの細かな改善点や検討項目を拾い上げること

ができた。

技術的課題については、三井化学（株）にてウレタン種類ごとに適したプロセスの最適化を検討するとともに、安価な原料への代替やプロセス時間短縮等によって、原料費やプロセスコストの低減を同時に検討する。また、更なる混合比率向上のための精製方法のブラッシュアップ及びイソシアネート由来アミン誘導体の商業化に向けた検討や手続きを継続していく。

経済的課題については、スキーム拡大によりスケールメリットを得られるだけの PUF 回収および再生ポリオール製造を目指す。スケールアップに関しては、新たに分解・ろ過のプロセスに改善点が見つかった。解決の難易度は高いがプロセスコスト低減につながるため、検討を進める。前処理に関しては自動化の検討とともに、導入設備の最適化を行い、時間だけでなくコストも十分に削減できるよう検討を進める。また、再生ポリオールの品質ばらつきを低減することで、発泡工程での工数削減が期待されるため、技術的検討を継続する。

また、前処理工程、CR 工程のそれぞれにおいて専用の設備導入が必要である。前処理工程については 7-2 に記載の通りマットレスのカバー剥がしから粉碎・選別・減容化までを連続処理する設備であることが好ましい。CR 工程に関しては、石油由来のバージンポリオール製造工程とは全く異なる工程（グリコール分解）となるため、この工程に適した仕様の設備を導入する必要がある。安全対策を含む主要設備の導入に関して、数十億円程度が必要となる見込みである。設備コスト低減をはかるため、用役設備及び必要な付帯設備については既存設備の適用可否や諸費用を含め最も経済性の高い設置場所への設備導入を検討する必要がある。運転コストに関しては可能な限りの自動化を目指すとともに、適切な人員配置を行うことにより、工数の最適化を検討していく。

時間的課題に関しては、7-4 に記載の通り、技術開発にかかる時間に加えて、設備の導入といったハード面と、各種法令対応のソフト面の両方で対応が必要となることが分かった。また、法令対応に関しては、それぞれ 2 年程度の時間を要することが明確になった。同時に進めることが可能な項目と、ソフト面の対応が完了したのちに進

めることが可能となるハード面項目があることも明確になった。これらに関しては、3社が個社で対応が必要な事柄ではあるが、計画をうまく組み合わせることにより、なるべく待機時間のロスを減らして社会実装につなげられるよう、引き続き綿密な連携とコミュニケーションを取って進める必要がある。