

研究報告

No.33

— 2021-2022 —



国立大学法人 室蘭工業大学

MONOづくり みらい共創機構

— 目 次 —

【令和3年度 プレ共同研究成果】

- (1) 港湾作業員勤務表の自動作成システムの開発 1
渡邊 真也, 小林 秀昭

【令和4年度 プレ共同研究成果】

- (2) 認知機能を維持するアオジソ機能食品：ジンの開発とその機能性 4
上井 幸司, 徳樂 清孝, 岩崎 秀威
- (3) ブラシスクリューコンベアの運搬特性の調査 7
大石 義彦, 中曾 陽斗, 河合 秀樹, 村上 孝志
- (4) アキシアルピストンポンプの高効率化に関する研究 9
風間 俊治, 小山内 裕太
- (5) 画像認識技術による輸送コンテナの目視検査支援に関する研究 13
近藤 敏志, 小林 秀昭
- (6) アンモニア暴露による木材の耐菌性化に関する基礎研究 16
島津 昌光, 永島 政典, 安居 光國, 岡戸 祐治, 平間 亮介
- (7) リサイクルを見据えた樹脂の溶解法の検討 19
馬渡 康輝, 佐藤 輝

港湾作業員勤務表の自動作成システムの開発

渡邊 真也^{*1}, 小林 秀昭^{*2}

- 1 室蘭工業大学 しくみ解明系領域
- 2 苫小牧栗林運輸株式会社 港運西事業所

1. はじめに

苫小牧港で作業する作業員の翌日の勤務表案を自動生成するためのシステムの開発に関する、苫小牧栗林運輸株式会社とのプレ共同研究である。

本共同研究では、問題のモデル化および最適化（勤務案の自動作成）、さらにその結果に対する検証を通じた高品質化について取り組んだ。具体的には、ヒアリングにより把握した港湾作業員決定作業を割り当て問題^{1,2)}として数学的に定式化し、分枝限定法を活用した最適化を行うことで自動的に適切な割り当て案を提示するアプリ開発を行い、その結果に対する検証を行った。

2. 港湾作業員勤務表

本研究での港湾作業員勤務表は、苫小牧栗林運輸株式会社で使用される勤務表を指す。この勤務表は、作業員、就業規則、社内規定などの様々な要素を考慮し、その日行われる作業に対し不足がないように毎日作成する。また、現在勤務表は手作業で作成しており、作成には1日の勤務表は作業監督員4名が2時間以上かけている。

3. 港湾作業員割り当て自動作成システム

本研究では、港湾作業員勤務表をさまざまな制約条件を考慮し、かつ数日後の未来の作業も考慮に入れた割り当て表を自動で作成するシステムを実現する。以下、作成した割り当て自動作成システムの概要について述べる。

3.1 勤務表作成方法

本研究では、必ず遵守しなければならない制約条件

をハード制約、可能な限り遵守する必要がある制約条件をソフト制約と定義する。本研究ではハード制約を充足しつつ、より多くのソフト制約の充足させた割り当ての作成を目指す。そのため、ソフト制約の違反に対しペナルティを付与し、それを目的関数とすることにより、目的関数の最小化問題として扱う。解探索には厳密解法を用いることで、より最適な勤務表を作成する。

3.2 制約条件

本研究では、以下のハード制約、ソフト制約を元に勤務表の作成を行う。

● ハード制約

- 月残業時間は月 80 時間以内
- 日曜日を除く月残業時間が 42 時間を超える月は年 6 回まで
*42 時間を超えた回数については以降「特別条項回数」と呼称する
- 1 か月の日曜出勤回数は
(その月の日曜回数) - 2 回まで
例として、その月の日曜が 4 回の場合は、2 回まで許容される
- 各作業に対する資格を保有していなければならない
- 人間関係が険悪な作業員同士は同じ作業に割り当てない
- 作業形態制約 (詳細は表 1)
- 複数作業を担当する作業員は同じ時間帯に並行して作業できない
- 負担の大きい作業は 3 日連続で割り当てない
- 作業が確定している作業員は該当作業に割り当てる
- 上限人数を上回る人数で割り当てない

- 優先度の高い作業は下限人数を下回る人数で割り当てない

表 1:作業形態間の制約関係

前日 \ 翌日	休日	明け休み	通常	早番	半夜	23時以降退社	夜勤
休日	○	×	○	○	○	○	○
明け休み	○	×	○	×	○	○	○
通常	○	×	○	○	○	○	○
早番	○	×	○	△	○	○	○
半夜	○	×	○	×	○	○	○
23時以降退社	×	○	×	×	×	×	×
夜勤	×	○	×	×	×	×	○

● ソフト制約

- 月残業時間の累積に対しての制限
- 役職保有者を優先的に配置
- 指揮者作業に監督代理を配置
- 役職をばらつかせて配置
- 特別条項回数に対する制限
- 標準人数に近い人数を配置
- 下限人数を下回る人数での配置を制限

3.3 未来考慮を含めた割り当て配置

本研究では、手作業での勤務表作成では対応することが難しい未来に対する考慮を含めることで、より精度の高い勤務表の作成を行うことも目的の1つである。未来を考慮する際に課題となる点として、未来に行われる作業内容を事前に把握できない点があげられる。理由として港湾作業は天候や波の影響を受ける船に関する作業が多いためである。作業内容が確定するまでにかかる日数は図1に示す。

作業内容明確定度/日数	今日	翌日	2日後	3日後	4日後	...
作業内容確定	■	■				
大まかな作業内容あり			■	■		
関連する情報なし					■	■

図 1:作業内容決定タイミング

よって、大まかな作業内容のある 2,3 日後の情報をを用いて未来考慮を組み込む。未来考慮を含めた割り当て作成の流れを以下に示す。また、流れを図にしたものを図2に示す。

Step 1) 1 日後の割り当て作成

1 日後の作業のみを考慮した 1 日後の割り当てを作成する

Step 2) 2 日後の割り当て作成

翌日の割り当てから各作業員の前日の作業内容

に関する情報を更新し、大まかに決まっている作業内容を元に 2 日後の割り当てを作成する。

Step 3) 3 日後の割り当て作成

2 日後の割り当てから各作業員の前日の作業内容に関する情報と残業時間の情報を更新し、大まかに決まっている作業内容を元に 3 日後の割り当てを作成する。

Step 4) 1 日後の割り当て再作成

3 日後の割り当てから各作業員の残業時間の情報を更新し、1 日後の割り当てを再作成する。

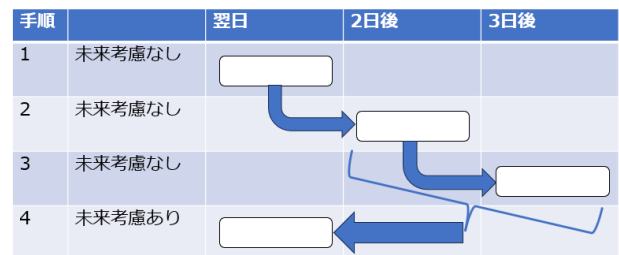


図 2:未来を考慮した翌日の割り当て作成の流れ

上記の流れで割り当て作成を行うことで、2, 3 日後の作業を考慮に含めた翌日の割り当てを作成することが可能となる。

4. 数値実験

3 章で述べたシステムの有効性を検証するため、シミュレーションにより得られた割り当て結果を実際の割り当てデータとの比較を行った。

4.1 実験概要

提案システムの有効性を検証するため、2つの割り当てに対し2つの評価方法を用いて比較実験を行った。実験に用いたデータおよび2つの割り当てについての概要を下記に示す。

対象問題: 12/23~12/26 の作業員勤務表の作成

割り当て 1: 未来考慮を含めた割り当て作成システムの Step0 で作成された未来考慮なしの翌日の割り当て

割り当て 2: 未来考慮を含めた割り当て作成システムの作成した Step4 で作成された未来考慮ありの翌日の割り当て

本実験では、システムで作成した割り当て案の妥当性検証（検証評価1）と未来考慮の有無による割り当て結果への影響を考察するための検証（検証評価2）

の2つの検証を行った。

検証評価 1:手作業での割り当てと割り当て1との一致率

検証評価 2: 手法1の割り当てと手法2の割り当てに対する目的関数の比較

4.2 実験結果

検証評価1として、未来を考慮しないシステムが導出した割り当て（割り当て1）と人手による実際の割り当て結果の一致率について調査した。調査結果を以下に示す。

結果 1. （実際の割り当て結果との）一致率:

12/23	24.074
12/24	40.426
12/25	14.943
12/26	17.500

つづいて検証2として行った未来を考慮した割り当て案（割り当て2）と考慮しない場合（割り当て1）との比較を行った。比較結果を下記の表2に示す。

表 2. 手法2, 手法3の評価値比較

日付/手法	手法2	手法3
12月23日	8536	23281
12月24日	4649	7376
12月25日	7771	9096
12月26日	6476	7639

4.3 考察

実際の割り当てと割り当て作成システムで作成した割り当ての一致率は、高くても40%程度であり、実際に使用されている手作業で作成された割り当てと離れた割り当てを作成しているという結果となった。とはいえ、割り当て作成システムで作成した割り当ては制約条件をきちんと満たしていることは確認できている。そのため、さらに実際の割り当てに近づけるためには、苫小牧栗林運輸が求めているより細かな割り当ての傾向を取り入れる必要があると考えられる。

また、未来考慮の有無を目的関数で比較した結果、未来考慮なしの手法1は日付経過による影響はあまり感じられなかった。それに対し、未来考慮ありの手法2の推移は2日後に大きく目的関数を減少させて未来考慮なしの目的関数に大きく近づき、3, 4日後も

安定した数値を出すことができていない。しかし、4日間で未来考慮なしの目的関数を下回ることではできなかった。そのため、未来考慮を含めることで恩恵を得るためには本実験の対象問題よりも長期での使用を想定する必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、苫小牧栗林運輸が実業務として扱っている苫小牧港の港湾作業において、作業員の自動割当システムを開発し、その有用性について検証した。本システムは、現実の割り当て作業と同様に残業時間や役職について考慮し、高速かつ高精度な割り当ての実現を図ったものである。

今後は未来考慮のありなしともにさらなる精度改善方法について検討する予定である。

文献

- 1) 坂和正敏, 西崎一郎, 植村芳雄, “生産・人員割当2レベル線形分数計画問題に対する対話型ファジィ計画法の適用-事例研究-”, 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.3, 395-405 (2000).
- 2) 倉重賢治, 高田大介, 亀山嘉正, “夜勤制約を重視したナーススケジューリング問題へのタブーサーチの適用”, 日本生産管理学会論文誌, Vol.11, No.2, pp.7-26 (2005).

認知機能を維持するアオジソ機能食品：

ジンの開発とその機能性

上井 幸司*¹，徳樂 清孝*¹，岩崎 秀威*²

1 室蘭工業大学 しくみ解明系領域

2 株式会社積丹スピリット

1 はじめに

現在，先進諸国では超高齢社会の進展により糖尿病や高血圧などの生活習慣病の増加に加え，認知症を罹患する高齢者の急増が大きな社会問題となっている。そのなかでも，認知症の半数以上を占めるアルツハイマー病 (AD) の患者数は 2050 年に 1 億 3200 万人に達し，現在 (約 4680 万人) の 3 倍となる可能性があるため，AD の克服は世界的な喫緊の課題である。ところが，AD では発症の 20～30 年も前から発症要因の一つである脳内でのアミロイド β ($A\beta$) の蓄積が始まること明らかにされており，早い段階から生活の中で予防や改善が必要である (図 1)。また，食と認知症の

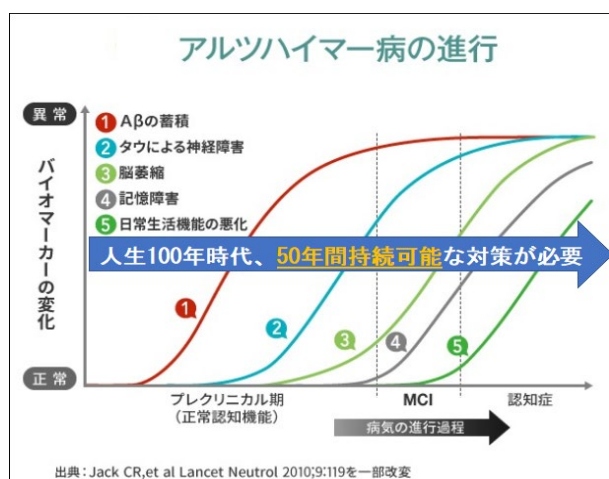


図 1：アルツハイマー病の進行とバイオマーカーの相関

関係には強い相関があるため，近年食事や食品成分を活用した AD の予防研究が幅広く展開され始めており， $A\beta$ の蓄積を抑制する成分が食品素材から探索され，有用成分を活用した認知症予防食品の開発が期待されている。

北海道の地方では，少子高齢化と人口減少が深刻な問題となっている。道東の白糠町の人口は，1980 年に 14514 人であったのが 2019 年には 7710 人となり，

2060 年には 1494 名になると推計されている (国立社会保障・人口問題研究所による推計)。若者の地方への定住を促すために雇用の拡大＝地域の特性に応じた新産業の創出を急ぐ必要がある。

室蘭工業大学では，種々の食品素材や天然素材など約 500 種類以上の植物を調査し，白糠町産のチリメンアオジソ (以下シソ) が特に $A\beta$ の凝集阻害活性が強いことを明らかにしてきた。そして，一昨年度，ノーステック財団の「研究開発助成事業」スタートアップ研究補助金 発展・橋渡し研究補助金に採択され，シソを AD 予防食品として活用するために，実験動物での効果の実証と機能性を維持する加工方法の開発，機能性成分の同定を行い，基礎データを取得した。その結果，シソは，動物試験によっても認知機能維持効果を示すことや，加工により機能性成分が変化し，不揮発性成分ばかりでなく，加熱加工後の揮発性成分が機能性を示す可能性があることが明らかとなった。このことはこれまでの研究では注目していなかったシソの香り成分などにも認知機能維持の機能があることを示唆しており，シソの機能性食品としての可能性を拡張するものであった。

ジンの原料であるジュンペーは古くから治療効果のある薬として用いられていた。例えば，北アメリカの先住民は外傷や病気の治療薬として，中国では生薬として，ヨーロッパでは細菌感染の治療薬として用いられていた。このように，先人たちが古くから用いてきた植物の利用法は長い歴史の中で取捨選択されてきた手段であることから，シソに適用することは有意義であると考えられた。

そこで，本研究では，シソの機能性食品開発への展開の一環として，新たに揮発性成分を利用した食品，すなわちジンの開発とその加工工程で生産され，機能性成分が確実に存在する残渣の有効利用法を検証し，シソから複数の機能性食品を開発する一石二鳥の製品開発を目的とする。

2 実験方法

2.1 シソ原料

千歳市にある AW ファーム千歳に委託し育苗したチリメンアオジソ 400 株を令和 4 年 6 月に白糠町泊別地区の町有圃場に 200 株定植した。令和 5 年 10 月中旬にシソの収穫した。

2.2 ジンの試作

令和 5 年 2 月 積丹スピリットにて減圧蒸留した（使用したシソ葉は 10 kg, 100 株, 図 2）。



図 2 蒸留装置（積丹スピリット）

蒸留したシソスピリットから、ジンのブレンドを検討した。

2.3 成分分析

蒸留品とブレンド品、残渣などを GC-MS および LC-MS による成分分析した（図 3）。



図 3 LC-MS による解析

2.4 アミロイドβ凝集集阻害活性試験

蒸留品とブレンド品、残渣の Aβ凝集阻害活性試験を実施した（図 4）。

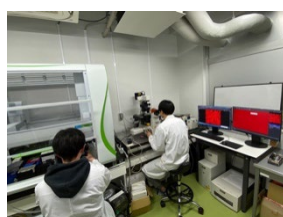


図 4 自動化 MSHTS システム

3 実験結果と考察

3.1 シソスピリット製造工程と収量

シソ生葉 10 kg (100 株) を 59%エタノール 50L で 20 時間浸漬後、減圧蒸留し、76.5%のエタノール濃度のシソスピリット 34.4 L, 蒸留後の蒸留窯に残留した 0.9%エタノール濃度の蒸留後エキス 16 L を得、さらに残渣を減圧蒸留し、3%エタノール濃度の芳香蒸留水 24.4 L, 残渣 10 kg を得た（図 5）。

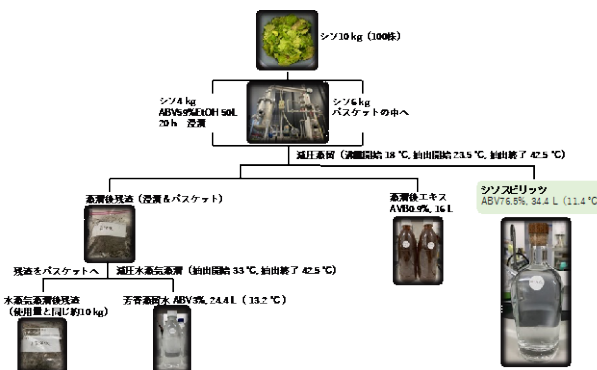


図 5 シソスピリット製造工程

3.2 シソジン製造工程で得られた画分の GC-MS 解析

得られたシソスピリットを GC-MS 分析したが、そのままでは成分ピークが検出することができなかった（図 6）。

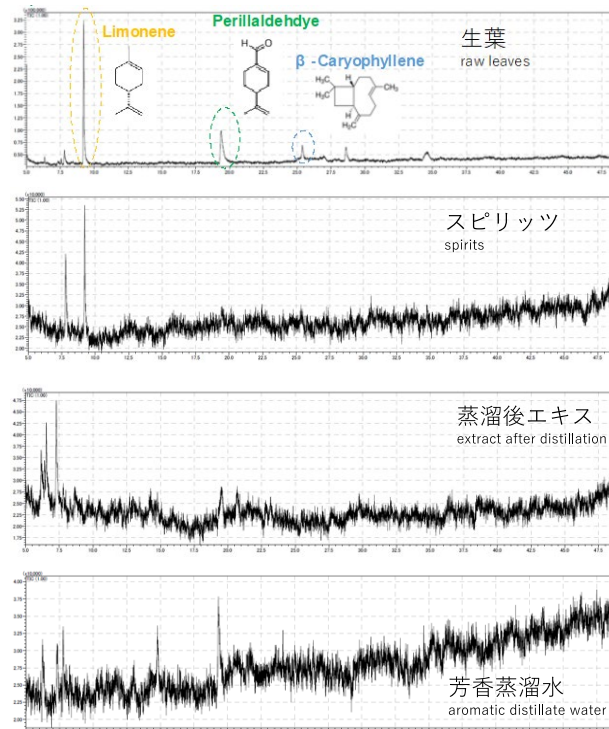


図 6 シソスピリット製造工程で得られた画分の GC-MS クロマトグラム

そこで、シソスピリッツをn-ヘキサンで抽出した画分をGC-MS解析したところ、 α -pinene, β -pinene, 1-octen-3-ol, limonene, perillaldehyde, β -caryophyllene が検出された (図7)。

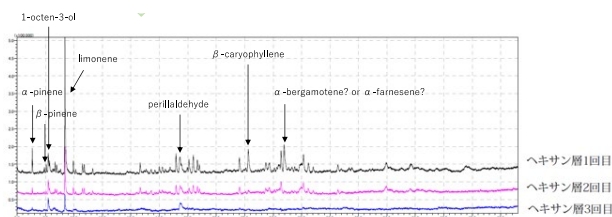


図7 シソスピリッツヘキサン抽出画分のGC-MS クロマトグラム

3.3 シソジン製造工程で得られた画分のLC-MS 解析

シソスピリッツ製造工程で得られた各画分のHPLC解析を行った。その結果、シソの主要な成分は蒸留後エキスをよく検出され、蒸留して得られる画分にはほとんど移行していないことが明らかとなった。また、スピリッツと芳香蒸留水は成分が似ており、蒸留して得られる成分は $t_R=21$ min 付近の成分であることが明らかとなった (図8)。

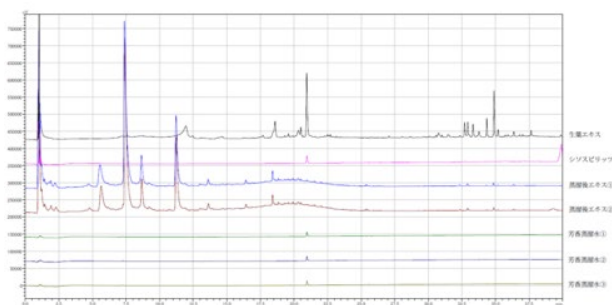


図8 シソスピリッツ製造工程で得られた画分のHPLC クロマトグラム

3.4 シソジン製造工程で得られた画分の $A\beta$ 凝集阻害活性

シソスピリッツ製造工程で得られた各画分のHPLC解析を行った。その結果、蒸留後シソエキスのみが活性を示し (0.67%), 蒸留画分は活性を示さなかった (図9)。

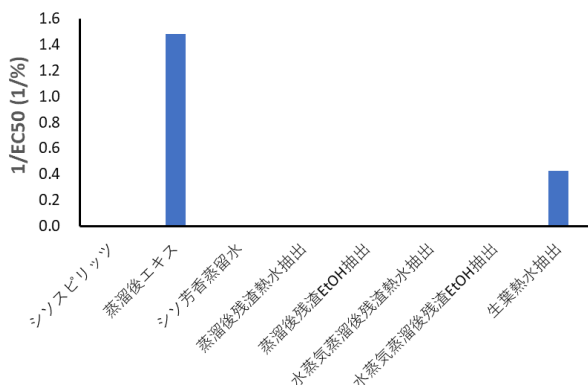


図9 シソスピリッツ製造工程で得られた画分の $A\beta$ 凝集阻害活性

4 おわりに

本研究では、白糠町産チリメンアオジソを機能性食品として活用するために、シソからスピリッツの製造試験を行い、その製造工程で得られた各画分の成分分析および $A\beta$ 凝集阻害活性を評価した。また、これを主原料としてブレndィングを行いシソジンを製造した。シソスピリッツ (AVB 76.5%) 500mL ボトル50本, シソジン (ABV 45%) 500 mL ボトル50本, その他製造工程で副産した画分を成果物として得た。

機能性評価は、スピリッツと芳香蒸留水、蒸留後残渣、水蒸気蒸留後残渣は $A\beta$ 凝集阻害活性を示さなかったが、蒸留後エキ스는活性を示した。

今後、各工程で得られた画分の利用として、スピリッツ、芳香蒸留水は製品火を模索し、蒸留後エキ스는シソの芳香性は失われていたが、もっとも $A\beta$ 凝集阻害活性が高かったため、機能性物質素材としての利用を検討したいと考えている。

シソは典型的な「和ハーブ」で、製品の旨みや甘みを深めることが出来ることが期待できる。一方で、他社製品として「鍛高譚ジン」(合同酒精)がすでに商品化されており、差別化のため他の野草やハーブなどとブレndィングなどにより、ストーリーづけを検討していきたい。

ブラシスクリューコンベアの運搬特性の調査

大石義彦^{*1}, 中曽陽斗^{*2}, 河合秀樹^{*1}, 村上孝志^{*3}

1 室蘭工業大学 もの創造系領域 機械ロボット工学ユニット

2 室蘭工業大学 理工学部 創造工学科 機械ロボット工学コース

3 株式会社アール・アンド・イー エンジニアリング部

1. 緒言

近年、環境問題や資源問題など様々な問題が発生している。その原因の一つに世界人口の増加に伴い、廃棄物発生量が増加していることが考えられる。Silpa らは世界の年間廃棄物発生量が 2016 年の 20.1 億トンから 2050 年には 34 億トンに達すると予測している(1)。このことから、現状よりも環境問題や資源問題などが深刻化している可能性が考えられる。この問題の解決策として、廃棄物の再利用、リサイクルがある。リサイクルには廃棄物を素材ごとに選別する中間処理が必要であり、手作業選別や湿式比重選別(2)、風力選別(3)、渦電流選別(4)など様々な方法を用いて行われている。プラスチック以外のミックスメタルや電子機器基盤などの多様化したリサイクル対象物への利用が検討されている。そこで新たな運搬装置として注目したのがマルチスクリューコンベアである。この装置は回転軸にスクリューが取り付けられているだけの単純な構造であり、部品点数が少ないため保守性も良い。そこで本研究は運搬特性に与える影響を把握し、コンベアの高効率化を目指すことを目的とした。

2. 実験装置

実験には Fig.1 に示すマルチスクリューコンベアを使用した。コンベアはスクリューとそれを覆うパイプで構成されており、モーターにより駆動する。スクリューはブラシ製でピッチ P は 30 mm, 直径 D_{sc} は 77 mm であり、スクリューの取付角度 ϕ は式(1)より $\phi = 7.07$ である。コンベア角度 θ は $\theta = 30, 45, 60$ deg. の三種類、スクリュー回転速度 n は 10 rpm から 67 rpm の範囲で調整可能である。

$$\phi = \tan^{-1} \frac{P}{\pi D_{sc}} \quad (1)$$

実験条件を Table 1 に示す。運搬効率 η の測定は質量を基準に行った。供試材には混合プラスチックを 100 g 使用した。コンベア角度 θ は $\theta = 30, 45, 60$, スクリュー回転速度 n は 10, 20, 30 rpm の 3 条件とし、測定時間は 60 min とした。測定は各条件につき 3 回行った。運搬効率 η の定義式を式(2)に示す。

$$\eta = \frac{m_{out}}{m_{in}} \cdot 100 \quad (2)$$

ここで $m_{out}[g]$ は排出された供試材の質量, $m_{in}[g]$ は投入した供試材の質量である。フルード数 Fr の定義式を式(3)に示す。

$$Fr = \sqrt{\frac{V^2}{D_{sc}g}} \quad (3)$$

ここで $V[\text{rad/s}]$ は周速度であり、スクリュー回転速度 n を用いて $V = \pi D_{sc} n / 60$ で表される。 Fr はその値が大きい場合、重力よりも遠心力が支配的であることを表している。



Fig. 1 Multi screw conveyor

Table 1 Multi screw conveyor specifications

Screw type	Brush
Screw pitch (P)	30 mm
Screw diameter (D_{sc})	77 mm
Angle of screw (φ)	7.07 deg.
Conveyor angles (θ)	30, 45, 60 deg.
Rotation speed changeable range	10 - 67 rpm

3. 実験結果

各コンベア角度における運搬効率 η の測定結果より、平均効率はすべての Fr で $\theta = 30$ において最大となった。平均効率の最高値は $Fr = 0.046$ での $\theta = 30$ における 87%、最低値は $Fr = 0.139$ での $\theta = 60$ における 3%であった。結果よりコンベア角度に注目すると、コンベア角度の増加に伴い、すべての Fr で運搬効率が低下した。これはコンベア角度の増加に伴いスクリーンと地面との角度が変化し、供試材がスクリーン上に位置したことにより運搬が困難となったためだと考える。次に Fr に着目すると、コンベア角度 $\theta = 30, 45$ では Fr が大きくなるにつれ効率が低下した。しかし、コンベア角度 $\theta = 60$ ではこの傾向に当てはまらなかった。また $\theta = 30$ ではすべての Fr におけるデータのばらつきが少なく安定して運搬が可能であったことが分かるが、 $\theta = 45, 60$ ではすべての Fr におけるデータのばらつきが多く、運搬が可能であった場合とそうでない場合がある。これは Fr が大きい場合、遠心力が支配的となるため供試材が水の流れに乗ることでコンベア内を浮遊し、1 ピッチ後方に後退する可能性が高くなることが原因だと考える。しかし、コンベア角度の変化は Fr の変化よりも運搬に与える影響は大きく見える。以上より Fr の変化よりもコンベア角度の変化が運搬に与える影響が大きいことが分かる。

4. 結言

本実験ではプラスチックを用いて回転速度、コンベア角度を変更し運搬効率の測定を行った。結果より、コンベア角度の増加に伴い運搬効率が減少した。またコンベア角度、 Fr の変化に伴い運搬効率に差が生じたが、その差は Fr の変化よりもコンベア角度の変化による影響の方が大きく見えた。

文献

- (1) Silpa Kaza et al., What a Waste 2.0: A Global Snapshot

of Solid Waste Management to 2050, World bank group, 9(2018), pp.3

- (2) 恒川昌美他, 湿式比重選別とその技術開発の動向, 資源と素材, Vol.121, No.10, 11(2005), pp.467-473
- (3) 吉田卓弥他, アルミ・銅の風力選別における性能の基礎特性およびその向上, 廃棄物学会論文誌, Vol.9, No.2, 3(1998), pp.95-103
- (4) 原田種臣, 資源リサイクリングの展望, 資源・素材学会誌, Vol.107, No.2(1991), pp.64-70
- (5) M. Tsunekawa et al., Jig separation of plastics from scrapped copy machines, Int. J. Miner. Process., Vol.76(2005), pp.67-74
- (6) M. Tsunekawa et al., Newly developed discharge device for jig separation of plastics to recover higher grade bottom layer product, Int. J. Miner. Process., Vol.114-117(2012), pp.27-29

アキシアルピストンポンプの高効率化に関する研究

風間 俊治^{*1}, 小山内 裕太^{*2}

1 室蘭工業大学 もの創造系領域

2 油研工業株式会社 研究開発部

1. はじめに

作動油を伝達媒体として利用する油圧システムは、流体を利用した動力伝達装置（フルードパワーシステム）⁽¹⁾のひとつであり、建設機械や航空機から様々な生産設備や製造工場などで用いられている。動力密度が高く、制御応答性に優れていること、ならびに無段変速域が広く、アクチュエータと動力源を離すことができることなどの多くの利点を有する。

機械的エネルギーを作動油の圧力に変換する油圧ポンプはシステムの要であり、各機器やシステム全体の動力が高いことから、僅かな効率の低下が大きな動力損失となる。今日のSDGs(持続可能な開発目標)やカーボンニュートラル⁽²⁾などの地球規模の社会的な潮流を受けて、各種の油圧システムに対しても、ポンプ効率に対する一層の向上が強く要請されている。

油圧ポンプ⁽³⁾には多種多様の形式があるが、代表的には、歯車式、ベーン式、ピストン式に分類することができる。その中のピストン式は、ピストンが主軸と並行に備えられているアキシアルピストン式と放射状に配置されるラジアルピストン式に大別される。取り分けて、アキシアルピストン式は小型、高効率、高応答、可変容量などの特長を持ち、油圧システムの動力源として多岐に亘り採用されている。

本研究では、油圧機器の省エネルギーを念頭において、アキシアルピストンポンプの更なる高効率化を図ることを目的とする。ひとつの目標として、機械損失（トルク損失）の測定手段・評価方法について検討するとともに、各部品の摺動部における機械損失の妥当性等を評価することを目指す。その前段階として、本ブレ共同研究では、アキシアルピストンポンプの主な摺動部品にDLC（Diamond-Like Carbon）コーティングを施して、ポンプの機械損失低減の可能性を実験的に検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 試験回路

実験装置全体の写真を図1に、油圧回路図を図2に示す。本実験装置は、供試ポンプとその駆動機械（電動機、インバータ等）、計測機器（トルク計、流量計、圧力計、温度計等）ならびに油圧補機（バルブ、クーラ、タンク等）で構成された⁽⁴⁾。



図1 試験装置全景

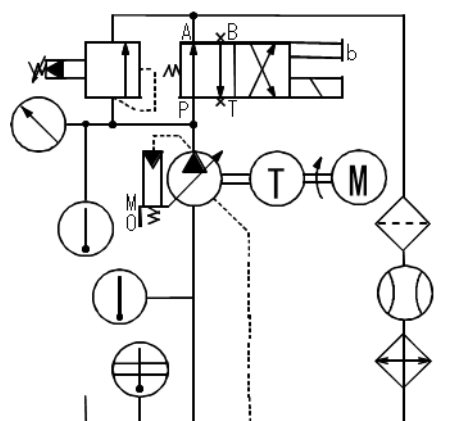


図2 試験油圧回路

試験用の油圧ポンプは、市販の斜板式回転シリンダブロック形アキシャルピストンポンプ（最高使用圧力：21 MPa, 理論押し退け容積：10 ml/rev）を活用した。その供試ポンプと駆動用の電動機（出力：7.5 kW）の間には、入力軸トルク T を計測するためのひずみゲージ式トルク変換器（定格：50 N・m）を装着した。

電動機は 3 相電源と直結に、あるいはインバータを介して回転速度制御で駆動された。ポンプ吸込みおよび吐出し管路にサーミスタ温度計を組み込んで、前者の温度を一定に保ちつつ、後者の温度により作動油の温度上昇を測定した。加えて、吐出し管路にオーバル流量計（最大流量：4000 l/h）を設置して吐出し流量を計測した。

2.2 供試ポンプ

供試ポンプは、上述のアキシャルピストンポンプを改良して使用した。同ポンプの主な摺動部は、弁板とシリンダブロック間、シリンダボアとピストン間、スリッパと斜板間となる。加えて、スリッパの浮き上がり運動を抑制させるためにリテーナが組み込まれており、これをピボットを介して斜板側へ押し付けているために、スリッパの上面とリテーナの表面との間ならびにピボット部にも摩擦が生じる。更に、シリンダブロックはスプラインにより駆動軸（主軸）と結合されて回転運動されることから、スプライン部も摩擦発生部位となる。これらのうち、弁板（図 3、左側が通常部品、右側が DLC 加工部品。以下、同様）、斜板（図 4）、リテーナ（図 5）、ピボット（図 6）、および主軸の表面に DLC 処理を施した部品（以下、DLC 加工部品）を用意して、DLC 処理を施していない部品（以下、通常部品）と、適宜、入れ替えて、幾つかの条件下において実験を行い、そこで得られたデータを比較することで、DLC 処理の効果を検証することとした。



図 3 弁板（左：通常部品、右：DLC 加工部品）

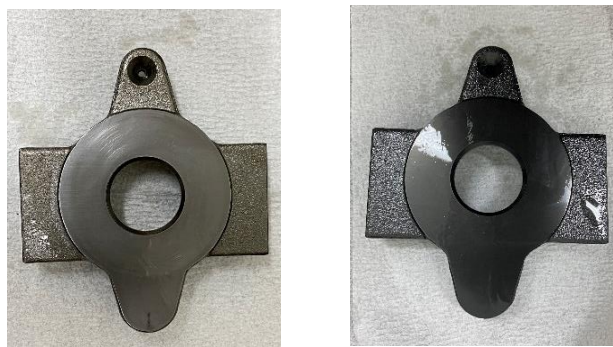


図 4 斜板（左：通常部品、右：DLC 加工部品）



図 5 リテーナ（左：通常部品、右：DLC 加工部品）



図 6 ピボット（左：通常部品、右：DLC 加工部品）

2.3 実験方法

実験は、吐出し圧力 p_d を大気圧から最高圧力（概ね、20 MPa）まで 1 MPa ずつ上昇させた後、再び大気圧まで下降させた。それぞれの p_d の設定条件下において、吐出し流量 Q_d 、トルク T^* および作動油の温度 t を測定した。なお、熱的平衡状態における温度を測定する際には、各設定条件下での測定において、ポンプ入口油温 t_m および回転速度 n を一定に保ちつつ、各点での温度が安定するまで十分な時間を掛けた。表示器の指示精度は 0.1 °C であった。なお、供試油には、粘度グレード VG32 の鉱油系一般油圧作動油（密度 866 kg/m³, @15°C, 動粘度 23/4.4 mm²/s, @40/100 °C）を用いた。

3. 実験結果

図7, 8は, それぞれ, 通常部品ならびに DLC 加工部品を装着した場合の, 軸トルク, 吐出し流量および全効率を示す. なお, この実験では, インバータによる電気ノイズの対策中であったために, 3 相電源に直結して実験を行った. 回転速度はスリップ等があったが, 約 1500 rpm (一定) であった.

両グラフでは, 同一条件にて 3 回, 実験を行い, それらをすべてプロットしている. プロットはほぼ重なっており, 本実験において再現性は総じて確保できたと考えられる.

図7と図8を比較すると, 全効率 η で最大効率点付近においては, DLC 加工部品で $\eta = 77.7\%$, 一般部品で $\eta = 76.4 \sim 76.9\%$ であった. また, 吐出し圧力 $p_d = 20 \text{ MPa}$ においては, DLC 加工部品で $\eta = 75.4 \sim 76.2\%$, 一般部品で $\eta = 74.1 \sim 74.4\%$ であった. つまり, DLC 処理により全効率が 1 ~ 2 points 程度の向上が見られたとも考えられるが, 言及は難しく, 精度や条件等の検証を要するといえる.

なお, ポンプ全効率 η は以下の関係式で求めた (N : 軸回転速度 rps, p_d : 吐出し圧力 Pa, Q_d : 吐出し流量 m^3/s , T : 軸トルク N·m). ここで, 効率の差異は現れたといえるが, 現段階ではトルク計のゼロ点精度等に問題があり, 対応中であることを記しておく.

$$\eta = \frac{p_d Q_d}{2\pi N T} \quad (1)$$

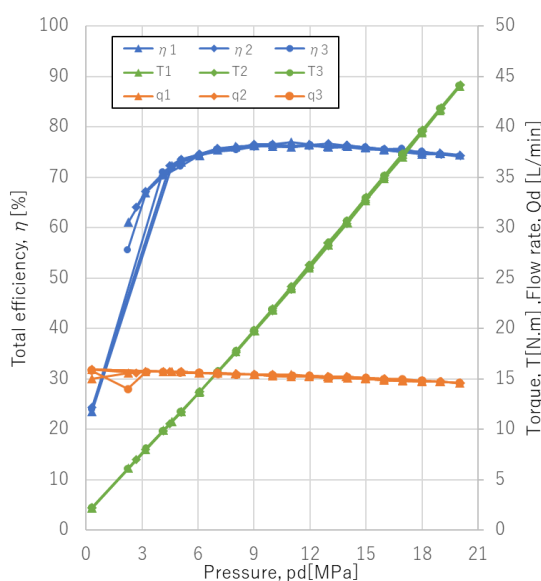


図7 ポンプ効率 (軸トルク, 吐出し流量, 全効率.
通常部品, 電源直結)

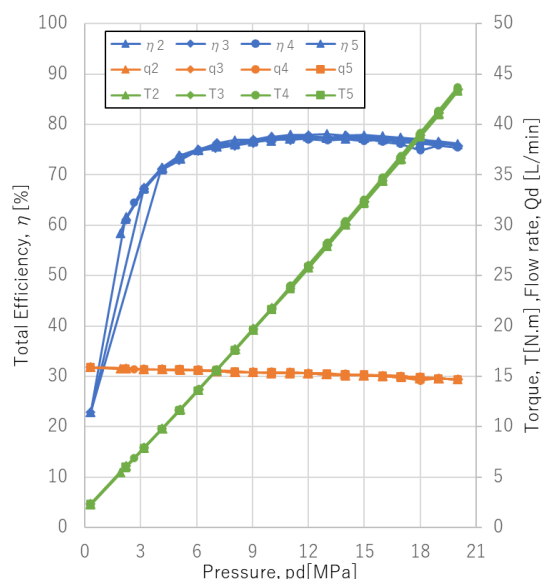


図8 ポンプ効率 (軸トルク, 吐出し流量, 全効率.
DLC 加工部品)

4. おわりに

本プレ共同研究では, アキシアルピストンポンプの高効率化を狙い, 特に摩擦特性の低減化を目指して, 様々な摺動部に DLC 処理を施した部品を組み込み, 通常部品との摩擦トルクならびに全効率に対する効果について実験的な検証を試みた. 本実験条件下においては, DLC 部品は通常部品よりも僅かながら効率の上昇が一部で見られたが, 有意差を認めるデータを得るには至らなかった. 取り分け, 計測精度, 特にトルク計測に関して課題が残った. 本研究の成果を生かして, 引き続き, 油圧ポンプの機械効率の低減に向けた取り組みを継続する予定である.

本研究の実施に当たっては, 油研工業株式会社 研究開発部 部長 北村 剛 氏, 課長 林 明宏 氏, 係長 平島 久央 氏ならびに関係各位のご支援を頂いた. また, 本実験には, 本学大学院生 山田 侑弥 君の助力を得た. ここに記して厚く感謝申し上げる.

最後に, 本プレ共同研究の実施に当たり, 令和4年度, CRDセンターより多大な助成を頂いた. 地方創生研究開発センター 吉成 哲先生 (現, MONO づくりみらい共創機構) および柴田 義光 先生 (現, 地域連携人材育成センター) ならびに本学研究協力会をはじめとする関係各位に対して深く謝意を表する.

文献

- (1) 日本油空圧学会, “新版 油空圧便覧”, 1989.
- (2) 風間俊治, “総論 油圧システムにおけるカーボンニュートラルに向けた技術動向”, 機械設計, Vol. 67, No. 6, pp. 2-6, 2023.
- (3) 風間俊治, “油圧ポンプ素描, フルードパワーシステム”, Vol. 50, No. 1, pp. 7-12, 2019.
- (4) 風間俊治, 鶴野正真, “斜板式アキシアルピストンポンプの熱潤滑特性 (斜板ならびにシリンダブロックの温度測定)”, 日本機械学会論文集 C, Vol. 74, No. 738, pp. 425-430, 2008.

画像認識技術による輸送コンテナの目視検査支援に関する研究

近藤 敏志¹, 小林 秀昭²

1 室蘭工業大学 しくみ解明系領域

2 苫小牧栗林運輸株式会社 現業部

1. はじめに

港湾においては、空の輸送コンテナ（以下、単にコンテナと呼ぶ）がゲートを通る際に、その内部と外部に汚れ・破損等がないかを確認し、その記録を残している。この作業は現在目視により行われているが、1日で300台程度の検査をする必要があり、作業員の負担が大きい、短時間で確認しなければいけないため見落としが発生しやすくなっている、という課題を有している。

このような課題を解決するために、コンテナ内部をカメラで撮影し、画像認識技術を使って汚れ・破損がないかの確認を自動化に関する実現性可能検証を行った。

2. データセット構築

空コンテナの画像は蓄積されたものがないため、まずデータセット構築を行うこととした。データセット構築は、本検討の依頼主である苫小牧栗林運輸株式会社が港湾作業を担当する全日検苫小牧に依頼することにより行った。

何度かの撮影と確認を行った後、撮影プロトコルを決定した。撮影プロトコルとしては、

1. コンテナ入口から奥に向かって奥側 2/3 程度
2. コンテナ中央辺りから奥に向かって奥側 1/3 程度
3. コンテナ奥から入口に向かって入口側 2/3 程度
4. コンテナ中央辺りから入口に向かって入口側 1/3 程度

の4枚を撮影し、汚れ・破損がある場合にはその部位に印をつけた上で撮影を行うこととした。なお撮影にはiPhoneを使用し、クラウド経由で画像データの受

け渡しを行った。また、港湾にて記録した検査記録（コンテナの番号と汚れ・破損や汚れの状態が記載されたもの）も別途送付してもらう方法を取った。

2023年12月末の時点で撮影された画像は70台分（計289枚）である（開始当初の目標は100台分以上）。この画像に対してアノテーション作業を実施した。アノテーションは、各画像に対して汚れ・破損の種類を表すラベル（Scratch, Oil, Dirty, Wet, Brokenの5種類）およびその範囲を矩形で表して付与する形式とした。アノテーション結果は、いずれのラベルも付与されていない画像が130枚、少なくとも1つのラベルが付与されている画像が159枚となった。またラベル数は、Scratch 113, Oil 22, Dirty 78, Wet 12, Broken 4となった。撮影画像およびラベルの例を図1に示す。

3. 画像認識実験

構築したデータセットを用いて画像認識実験を実施した。70台分のデータを訓練用50台分、評価用20台分に分割したところ、訓練用画像は185枚、評価用画像は104枚となった。

データセットにおいては汚れ・破損の位置もアノテーションされているが、画像数が少ないこともあり、付与されたラベル（汚れ・破損の種類）を予測できるかという分類問題により検証を行った。分類問題としては、2パターンの分類方法を検証した。1つ目が、汚れ・破損の有無を予測する2分類問題、2つ目が、ラベル数が少ないものは除いた Scratch, Dirty, Wet を予測できるかのマルチラベル予測問題である。

画像認識方法としては、深層学習手法の一つである畳み込みニューラルネットワークを用いた。中でも比較的軽量の ResNet-18 [1], MobileNet-L [2] の2つで実験を行った。



図1 撮影画像とラベルの例

評価尺度は、正解率、F1 値（マクロ平均）とした。ここでF1 値とは適合率と再現率の調和平均である。なお、適合率は汚れ・破損があると予測した画像に実際に汚れ・破損がある割合、再現率は実際に汚れ・破損がある画像を汚れ・破損があると予測できた割合を示す。マルチラベル分類の場合は、汚れ・破損の種類ごとに評価値を求めた後、その平均値を計算する。F1 値を用いることで、見逃しと過検出のバランスを取った評価値を得ることができる。

表1,2に実験結果を示す。表1は2クラス分類の結果、表2はマルチラベル予測の結果である。

表1に示す結果より、2クラス分類においては評価用データに対してF1 値が90%を超える高い性能で分類が可能であることが確認できる。ただし、現在のデータでは汚れ・破損の有りと無しがほぼ1:1の割合であるため、実際の比率に合わせた検証が必要である。

表2に示す結果より、マルチラベル予測の性能は訓練用データでは比較的高いが、評価用データでは低いことがわかり、これより現時点では実現可能性を判断することはできないと考えられる。しかしながら、訓練用データに対しては高い性能を示していることから（過学習状態）、データ数が増えれば、評価用データ

表 1 2 クラス分類の結果 (%)

ネットワーク	訓練用データ		評価用データ	
	正解率	F1 値	正解率	F1 値
ResNet-18	82.1	84.4	83.6	90.5
MobileNet-L	76.2	78.6	86.5	90.4

表 2 マルチラベル予測の結果 (%)

ネットワーク	訓練用データ		評価用データ	
	正解率	F1 値	正解率	F1 値
ResNet-18	91.5	84.1	79.4	57.7
MobileNet-L	98.3	94.5	80.1	49.0

に対する性能も向上する可能性がある。

よっていずれの検討にも、またさらに物体検出（位

置検出）性能の検証を行うためにも、実現可能性を判断するには計 200 セット程度は必要であると考えられる。現在、データセット拡充のため撮影者を増員して画像撮影を実施中である。

4. おわりに

本ブレ共同研究では、コンテナ内部の汚れ・破損の自動検出を、画像認識技術を使って実現できるかを検証した。検証の結果、汚れ・破損の有無を判別することは実現可能性が高いが、汚れ・破損の種類を分類することは現時点では実現可能性を判断できない結果となった。これはデータ数が少ないことが主な要因であるため、今後さらにデータセットを拡充して再度検証を行う予定である。

文献

- [1] K. He, et al., “Deep Residual Learning for Image Recognition”, CVPR2016.
- [2] M Sandler, et al., “MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks”, CVPR2018.

アンモニア暴露による木材の耐菌性化に関する基礎研究

島津 昌光^{*1}, 永島 政典^{*2}, 安居 光國^{*1}, 岡戸 祐治^{*3}, 平間 亮介^{*3}

- 1 室蘭工業大学 しくみ解明系領域
- 2 室蘭工業大学理工学部システム理化学科化学生物システムコース
- 3 北海道三井化学株式会社 技術部

1. 緒言

日々、生活で使われる家具や建材などの木材製品は多くの長所を備えているが、感触の柔らかさや木目・色調の独自性が好まれる点もその一つに挙げられる。

木材の色は樹種により異なり、また、同一樹種の中でも色のばらつきが見られる。更に、木材は伐倒や製材への処理段階で変色することもあるため、これらの欠点をなくすため、より付加価値を付けるために調色が行われる。

調色に関して、天然銘木の材色を模する、或いは人工的な色を求める目的で様々な着色剤を用いた木材着色が行われている。それらの中で特にアンティーク調の色合いを出すために、アンモニア水(ガス)処理による化学着色が用いられており、この処理は木材の老化防止と色調の維持にも効果的であるとされている⁽¹⁾。

しかしながら、本処理によって木材が同時に耐性菌化されるかどうかは、木材の致命的な欠点として腐朽菌による腐朽が挙げられるが、まだ余り明らかになっていない。従って本研究においては、アンモニアガスで暴露させたカラマツ木材片を供試材に用い、日本産業標準調査会（JIS）の木材の試験方法

（Z2101:2009）26 耐朽性試験に記載されている白色腐朽菌 *Trametes versicolor* (カワラタケ)を試験体に培養させることで、耐性菌化の程度を求める試験を行った。また、*T. versicolor* が主に産生する木材分解酵素であるラッカーゼを含む溶液を試験体に作用させ、その質量変化の測定から木材の分解耐性を評価する試験も行った。

2. 耐性菌化および分解耐性化試験方法

2-1 実験方法

白色腐朽菌(*T. versicolor* NBRC30340 株)は製品評価技術基盤機構(nite)から購入した。腐朽試験は JIS 規格を参考にして行った⁽²⁾。500ml ビーカーに海砂(20～35mesh)を 300g 入れ、液体培地(グルコース 4%, ペプトン 0.3%, 麦芽エキス 1.5%, pH4.5 に調整) 110ml を加えてオートクレーブ(121℃, 20min)により滅菌した。滅菌後に *T. versicolor* を植菌した。恒温槽(26±2℃, 湿度 70%以上)にて前培養を行い、11 日後、または 16 日後に培地表面に十分繁殖したものをを用いて試験を開始した。なお、オートクレーブ後に *T. versicolor* を植菌せずに試験を行ったものをコントロールとした。

試験体は、供試材から辺長 20mm の立方体となるように切り取って作製した。この試験体をオートクレーブで滅菌後、乾燥機(105℃, 24h)で乾燥し、恒量に達したときの重量を測定した。本培養は、前培養した培地面に試験体を置いて静置(26±2℃, 湿度 70%以上, 30 または 60 days)することで行った。所定日数後、試験体に付着した菌体をはがし、乾燥機で乾燥(105℃, 24h)させた。乾燥後、速やかに重量を測定して重量変化率を求めた。重量変化率の求め方は以下のとおりである。

$$\text{重量変化率(\%)} = (\text{静置後の重量(g)} - \text{0day の重量(g)}) / \text{0day の重量(g)} \times 100 \quad (1)$$

更に、試験体が培地成分を吸水して見かけの質量が増加してしまうことを考慮して、試験後に試験体を脱イオン水に浸して所定時間攪拌し、その処理水を交換する操作を繰り返した。その後、乾燥機で乾燥(105℃, 24h)した。乾燥後は速やかに重量を測定し重量変化率を求めた。重量変化率の求め方は以下のとおりである。

$$\text{重量変化率(\%)} = (\text{水洗後の重量(g)} - \text{0dayの重量(g)}) / \text{0dayの重量(g)} \times 100 \quad (2)$$

ラッカーゼ試験(ラッカーゼ濃度 100mg/ml)に用いるラッカーゼ Y120 は天野エンザイム製を用いた。反応溶液の緩衝液はコハク酸ナトリウム(0.2M, pH4.5)を用いた。試験体の重量を測定後、オートクレーブ(121℃, 20min)を行い乾燥機で乾燥(105℃, 24h)を行った。乾燥後、速やかに重量を測定し、反応溶液に試験体を入れ、所定時間(28℃, 7days)静置した。その後、取り出して乾燥機で乾燥(105℃, 24h)させ、速やかに重量を測定し重量変化率を求めた。重量変化率の求め方は式(1)と同一である。

2-2 供試材について

供試材は北海道三井化学(株)で作製したものを用いた。木材種は北海道産カラマツとし、アンモニアガスによる気相処理(ゲージ圧 0.5MPa, 室温, 2days)を行った後、130℃で熱処理した。この処理を行ったもの(A 処理)と全く処理を行ってないもの(未処理)を同時に試験した。

3. 実験結果と考察

3-1 耐性菌化試験

前培養して繁殖した *T. versicolor* の菌体表面に試験体を静置して 60 日間培養試験を行った後の外観変化を図 1 に示す。*T. versicolor* を培養させた試験体では、木片表面は繁殖した菌体で白く覆われた。他方、コントロールでは、空气中に存在するカビなどが試験体に付着して増殖した。このように外観変化した試験体から求められる重量変化率(%)に関して、試験期間中に培地成分が試験体に蓄積する可能性を考慮し、試験後に水洗処理を行って求めたものを図 2 に示す。各試験体は 8 個ずつセットにして行い、その標準偏差も求めた。試験体全てにおいて重量は減少したが、試験開始 30 日間後の変化率は約 1%であり、重量減少に有意な差は生じなかった。60 日後になると *T. versicolor* を繁殖させたアンモニア未処理の試験体が最も大きく重量減少し、A 処理した試験体についてはコントロールと *T. versicolor* 繁殖後との間で重量変化の差は見られなかった。本結果より、A 処理木材は腐朽菌の影響を受けないと考えられる。長期的に見れば、アンモニア処理を行ったカラマツは *T. versicolor* への耐菌性を獲得できることが示唆された。

3-2 分解耐性化試験

ラッカーゼは木材組成の一つであるリグニンを分解

する酵素である⁽³⁾。ラッカーゼによる木材への影響を調べる際に、試験期間を通して試験体に酵素自体が蓄積することを考慮して、ラッカーゼと分子量がほぼ同じであるウシ血清アルブミン(BSA)をコントロールに使用した。純水に BSA を加えたもの、または緩衝液にラッカーゼを加えたものをラッカーゼ処理としてこれらを 500ml ビーカーに 100ml 入れ、そこに試験体を浸して試験を行った。各試験体は 7 個ずつ用いて行った。図 3 に試験体の重量変化率(%), および標準偏差を示す。いずれの試験体も反応溶液を吸水してしまい重量が増加した。従って、ラッカーゼがリグニンを分解することによる重量減少を確認することはできなかった。しかしながら、コントロールはラッカーゼ処理と比較して増加率が僅かであり、BSA とラッカーゼは分子量がほぼ同じであるが分子構造は異なるため、このような差が現れたと考えられる。また、木材を構成している天然セルロースはセルロース I 結晶構造を持っているが、アンモニア処理によるセルロース-アンモニア複合体の形成を経由してセルロース III に相転移することが知られている⁽⁴⁾。ラッカーゼを加えた A 処理試験体で重量増加が特に大きくなったのは、この相転移によってラッカーゼが入り込める空隙が広がったことを示唆している。

4. 結言

白色腐朽菌 *T. versicolor* を用いた耐性菌化試験で、アンモニア処理した木材が耐菌性を示すことが示唆された。しかしながら、木材の耐朽性を求める際にはもう一つの菌種である褐色腐朽菌 *Fomitopsis palustris* (オオウズラタケ)においても試験する必要があるため、今後の課題となる。また耐性菌化試験に関して、*T. versicolor* はリグニンに作用したようであるが、リグニン分解の程度については定量化してない故、テトラブチルホスホニウムハイドロオキシサイド(TBPH)を用いたリグニン定量を行うことも必要になると考えられる。

文献

- (1) Weigl, M., Pöckl, J., Müller, U., Pretzl, H., Grabner, M. 3rd European Conference on Wood Modification. Cardiff, UK., 2007.
- (2) JIS Z 2101「木材の耐久性試験方法」, 2009.
- (3) 割石博之, 諸星紀幸, 原口隆英 木材学会誌 33(11), 892-898, 1987.
- (4) 杉山淳司, 堀川祥生 木材学会誌 54(2), 49-57, 2008.

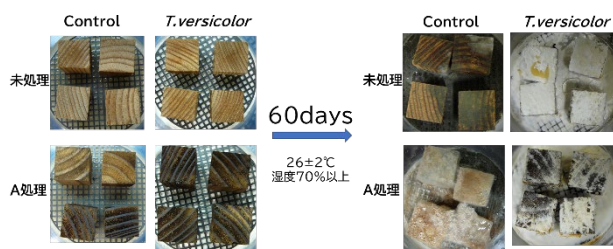


図1 耐性菌化試験 60 日後の試験体の外観変化

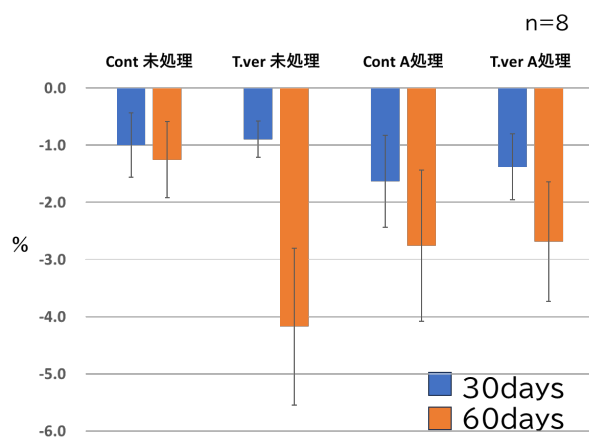


図2 水洗後の試験体の重量変化率(%)と標準偏差

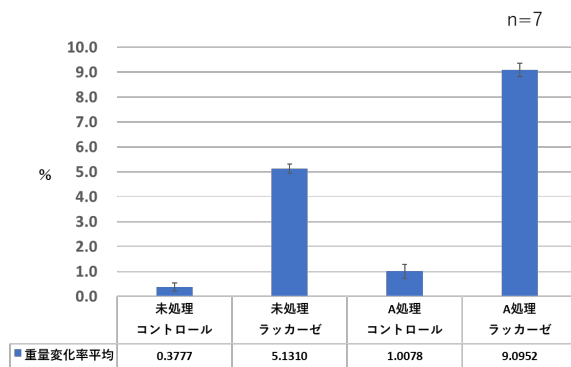


図3 試験体の重量変化率(%)と標準偏差
酵素処理条件 : 28°C, 7days

リサイクルを見据えた樹脂の溶解法の検討

馬渡 康輝*¹, 佐藤 輝*²

1 室蘭工業大学 しくみ解明系領域

2 株式会社マテック

1. はじめに

自動車産業は持続可能な発展に向け、リサイクル技術の向上やエコフレンドリーな設計に取り組む必要がある。このような取り組みは、地球環境への貢献だけでなく、新たな価値をもたらす可能性がある。2022年の日本国内における解体/破碎等業種が引き取った使用済自動車の数は、約240万台と報告されている。¹⁾ 廃自動車は、タイヤ、ガラス、ハーネス、電子機器、触媒、プラスチックなどを取り外される。この解体済自動車は、シュレッダープラントで破碎され、鉄や非鉄金属とASR（自動車シュレッダーダスト）に分けられる。続くASR資源化工程では、プラスチックは固形燃料となる。²⁾

本研究では、有機化学的アプローチによる使用済樹脂の新たなリサイクル方法を提案することを目的とした。試験対象の樹脂は、ASRに含まれる発泡ウレタン（以下PUと呼ぶ）を選択した。

2. 実験方法

2.1 溶剤および樹脂試験材

溶剤スクリーニングに用いた溶媒は、加熱処理時に揮発蒸発するのを防ぐために、以下に列挙した沸点100℃付近およびそれ以上の極性溶媒を選択した。

1,4-ジオキサン, エタノールアミン, トリエチルアミン, ジシクロヘキシルアミン, ピペリジン, ピペリジンエタノール, *N*-メチルピペリジン, モルホリン, アニリン, ピリジン, 1,8-ジアザビスクロ[5.4.0]ウンデカ-7-エン(DBU), ニトロベンゼン, *N,N*-ジメチルホルムアミド(DMF), ジメチルスルホキシド(DMSO), *N,N*-ジメチルアセトアミド(DMA), *N*-メチルピロリドン(NMP), アセトフェノン, エチルアセトフェノン, シクロヘキサノン, 酢酸ブチル, マロン酸ジメチル, メトキシエタノール, トリエチレングリコール, テトラ

エチレングリコールジエチルエーテル。これらの溶剤はいずれも純正化学（株）より入手した。

樹脂試験材は、(株)マテックより供された廃自動車のシート内部から取り出したPUを、約2cm角に裁断して使用した。

2.2 溶剤スクリーニング

PU試験片をガラス試験管に投入し、そこに室温で溶剤を試験片が十分浸る量を加えた。試験管上部をパラフィルムで封止し、所定の温度のウォーターバス内に設置した。所定の時間毎にウォーターバスから引き上げ、目視で試験片の様子を確認した（図1）。



図1 PUに対する溶剤スクリーニング実験の外観

2.3 溶剤分解試験

PU試験片300mgをガラス試験管に投入し、そこに室温で溶剤15mLを加えた。試験管上部をセプタムキャップで封止し、窒素バルーンを付した。この試験管を100℃のアルミバス内に設置し、24時間保持した。

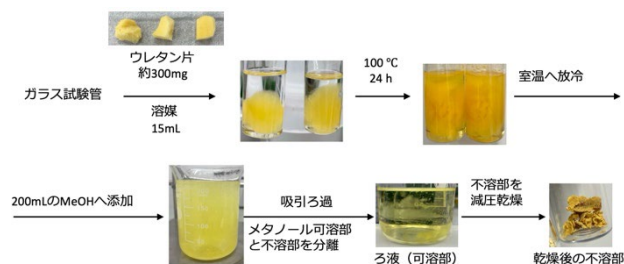


図2 PUに対する溶剤分解試験

試験管をアルミバスから取り出し室温に放冷したのち、内容物をメタノール 200 mL へ攪拌しながら投入した。10 分間の攪拌後に攪拌を止め静置し、不溶部を沈降させた。メタノール混合物をろ紙を付した吸引ろ過装置を通過させ、可溶部と不溶部に分けた。不溶部を減圧乾燥し、重量を測定した（図 2）。

3. 実験結果と考察

3.1 溶剤のスクリーニング

はじめに、PU 片を加熱溶融して再度成形が可能か検討した。溶融する温度まで加熱すると明らかに熱分解が生じていると予想させる臭気と外観が観察された。このため、溶融成形によるリサイクルは現時点では困難であると言える。次に、PU を溶剤に溶解し、その溶液を型に流し溶媒を除去して再度成形する溶媒キャスト法によるリサイクルが可能か検討するため、PU 試験片を種々の溶剤に投入し、加温下に保持して経過を観察した。その結果、今回選択した溶剤の多数が PU に全く作用しない、または膨潤するのみであった。一方、いくつかの含窒素溶剤の場合は、PU 片の崩れや溶解が生じた。このことから、これらの含窒素溶剤に限定して、以下の溶剤分解試験を実施した。

3.2 溶剤分解試験

高分子化合物の合成研究において、原料であるモノマーと生成する高分子化合物を分離する際に、合成反応溶液をメタノールなどの高分子化合物に対して貧溶媒となる溶剤へ投入する。これにより、生成する高分子化合物は粉状または繊維状に析出し、モノマーやオリゴマー（モノマーが数個つながった化合物の総称）などの低分子化合物は溶解したままとなる。この混合物をろ過分離することで、高分子化合物と低分子化合物を分離する。今回行った溶剤分解試験では、含窒素溶剤を使用した際に、投入した PU の大部分を溶解できることが明らかになった。このとき、溶解した PU が高分子化合物のまま溶解しているか、または加水分解反応が生じて低分子量体として溶解しているか明らかにするために、上記の方法で PU 溶解液を処理した。その結果、PU が全部または一部溶解したいずれの溶解液においても、メタノールに投入すると粉状の不溶部が析出した。少ない場合は PU 投入量の 2 割弱の回収に留まった（図 3）。この析出量は含窒素溶剤の塩基性と一部相関があり、塩基性が強いほど不溶部の量が減る傾向が見られた。しかし、必ずしもその傾

向に当てはまらない場合も多かったことから、溶剤の分子構造にも強く影響を受けていると考えられる。以上より、シートに用いられる PU は、溶液化が可能な線状高分子ではなく溶媒に不溶の網目状高分子であると言える。このため、溶媒キャスト法によるリサイクルは現時点では困難であると言える。また、8 割程度の可溶部は、PU の加水分解物であるオリゴマー成分およびジアミン（またはポリアミン）とポリオールであると考えられる。可溶部の有効活用を進めるに当たり、今後はこれらの混合物からそれぞれの化合物を分離する方法、およびそれらの構造同定が必要である。

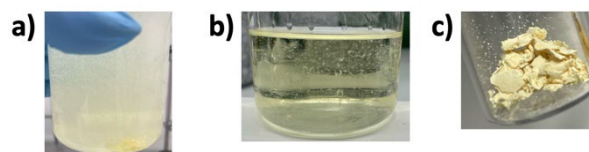


図 3 溶剤分解試験結果の一例。a) PU 溶解液をメタノールに投入した直後。b)ろ過分離後のろ液。c) ろ過分離後のメタノール不溶部。

4. おわりに

本研究では、PU を溶剤で溶解および分解する方法を検討した。窒素を含有する塩基性溶剤の一部が有効であることを見出した。今後は、本研究で見出した溶剤を用いた処理により生成する可溶部および不溶部の同定、およびその溶剤の繰り返し利用方法の検討が必要である。また、自動車のシートは、PU のみでなく、シートカバー、フレームの金属、台座などからなる複合製品であるため、この中から PU を効率よく分離する方法の検討もあわせて必要である。

文献

- (1) “自動車リサイクルデータ Book 2022”，公益財団法人自動車リサイクル促進センター，2023 年 7 月発行。
- (2) “マテック株式会社ウェブサイト”，<https://www.matec-inc.co.jp/business/recycle/elv/>

国立大学法人 室蘭工業大学
MONOづくりみらい共創機構

〒050-8585 室蘭市水元町 27-1

<https://u.muroran-it.ac.jp/crd/>

crd@muroran-it.ac.jp

TEL (0143) 46 - 5860

FAX (0143) 46 - 5879