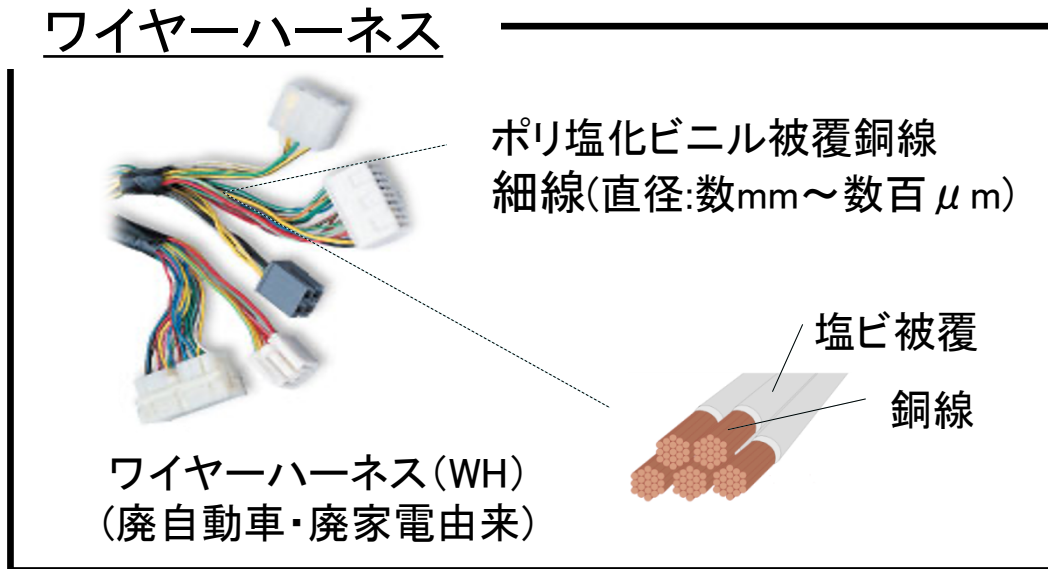


被覆電線を被覆材と導電体に 分離する湿式剥離法

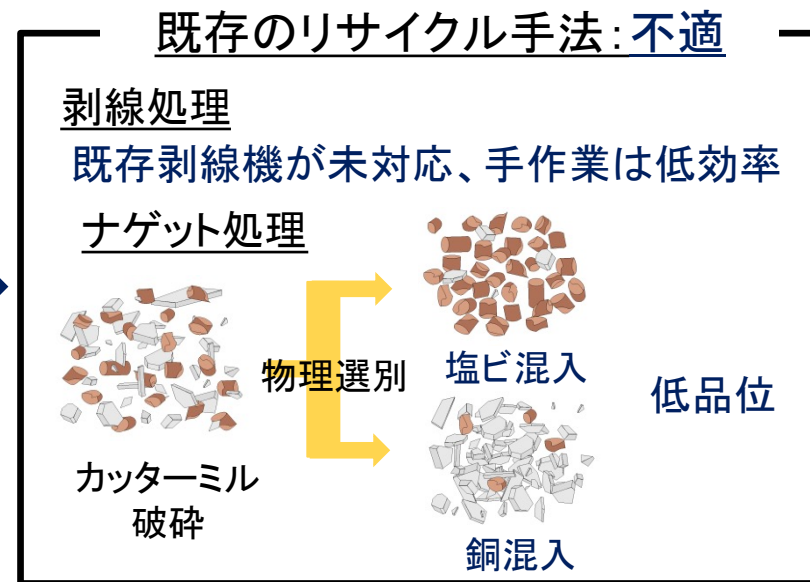
東北大学大学院環境科学研究科
先端環境創成学専攻
助教 熊谷 将吾

2022年3月10日

本技術が必要とされる社会的背景



国内廃棄量: 約25,000 t/年(銅量ベース)



国内リサイクル困難

これまで 大半が低価格で中国に輸出

これから アジア諸国: 廃棄物の輸入制限
WHの国内滞留が深刻化

✓ 経済的損失

一号銅線(Cu99.9%以上) : 1,155円/kg

(参考) 雑電線(Cu65%) : 595円/kg

自動車ハーネス : 420円/kg

本技術

使用済みWHから高品位の銅および被覆樹脂を回収

従来技術の課題

従来技術の例

被覆電線を剪断機によってチップ状に細かく剪断し導電線から樹脂被覆材を剥離する方法

【特開2012-089358】

- 被覆電線を剪断する際に導電線から樹脂被覆材を物理的に剥がすため分離させた導電線に樹脂被覆材の細片が残留、回収する導電体の純度が低下。
- 導電線から樹脂被覆材を正確に分離するためには、破碎機のスクリーンのメッシュを細かくする必要があり、粉碎時間の増加に伴い処理効率低い。
- 回収された導電線を伸銅製品の原料として利用する場合、粒度が非常に細かいことが原因で、溶解歩留まりが悪化するという課題もあった。

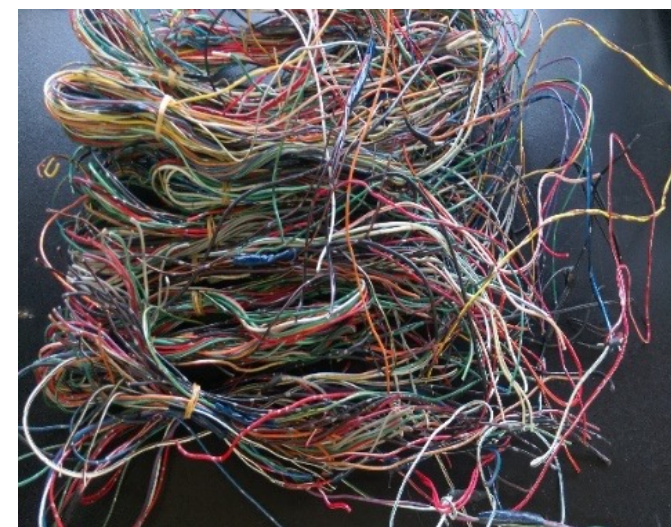
樹脂被覆材を加熱炭化することで導電線から樹脂被覆材を剥離させる方法【特許第5134719】

- 樹脂被覆材の炭化物が導電線に付着、回収する導電体の純度低下。
- 樹脂被覆材に含まれる塩化ビニル樹脂の熱分解により腐食性の塩化水素ガスが発生、反応装置や配管が劣化、排出ガスの処理が煩雑。
- 樹脂被覆材は炭化物として分離するため、樹脂被覆材を材料資源としてリサイクルできない

樹脂被覆材を有機溶剤で膨潤させ導電線を引き抜く方法

【特開平06-279614】

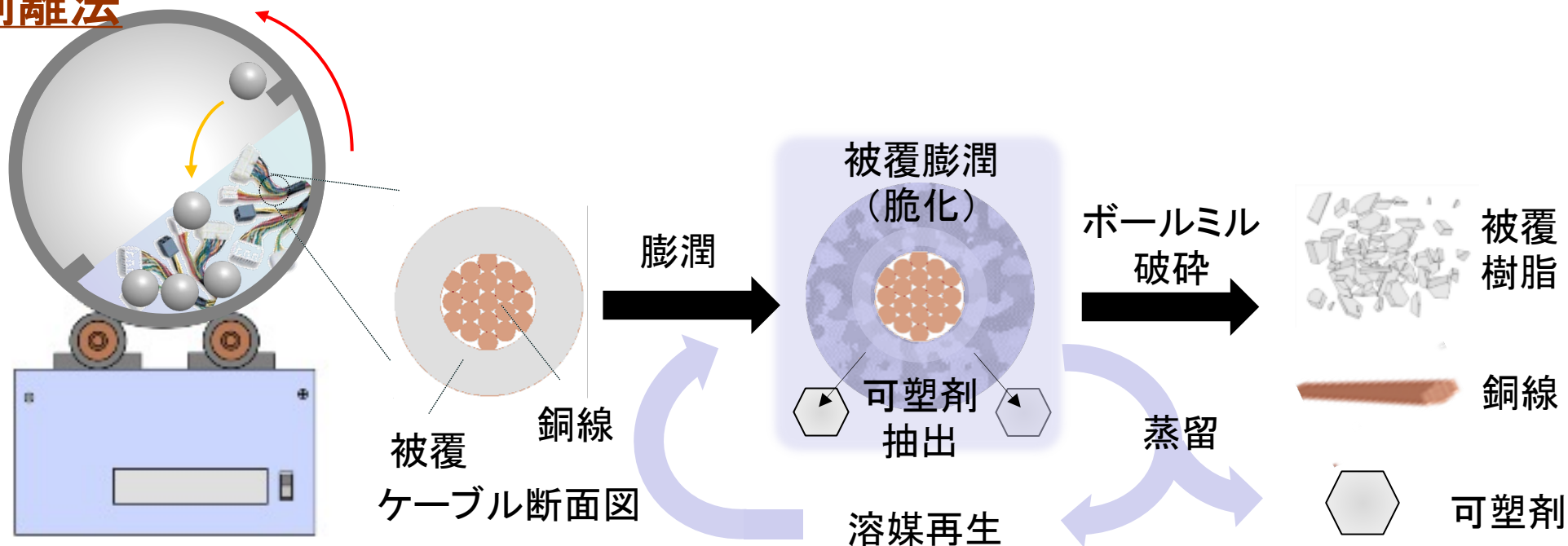
- 樹脂被覆材の膨潤工程、導電線を一本一本引き抜く工程、分離した樹脂被覆材を溶剤に溶解する工程、真空蒸留工程など、複数の分離工程が存在し、プロセスが複雑。



ワイヤーハーネス(WH)由来の
被覆電線(細線)

新技術の特徴

湿式剥離法



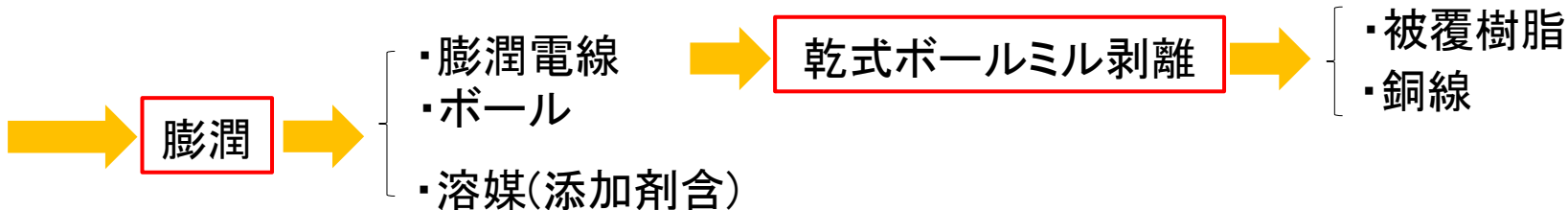
1ステップ

被覆電線
膨潤溶媒
ボール



2ステップ

被覆電線
膨潤溶媒



1) H. Kumar, S. Kumagai*, T. Yoshioka et al., *Sci. Rep.*, 10, 10754 (2020); 2) H. Kumar, S. Kumagai*, T. Yoshioka et al., *React. Chem. Eng.*, 5, 1805 (2020); 3) H. Kumar, S. Kumagai*, T. Yoshioka et al., *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 23, 461 (2021)

新技術の特徴

選択溶媒による被覆材膨潤率(R_{swel})

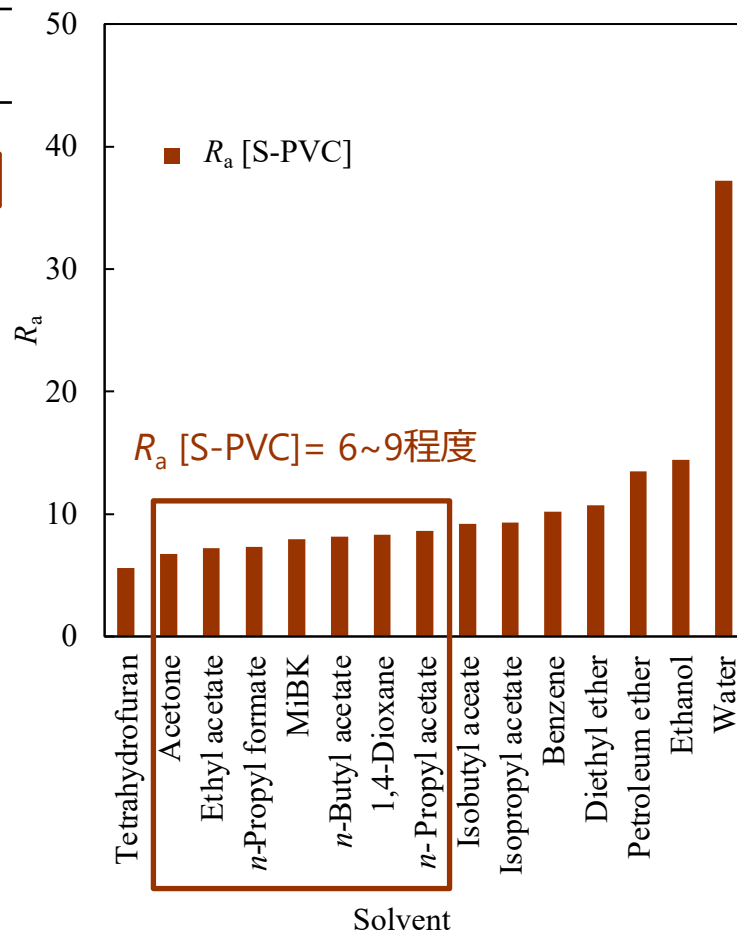
溶解せずかつ高い膨潤率($R_{swel} = 3.0 \sim 3.5$)

$$R_{swel}[-] = V/V_0 \quad V: \text{膨潤後体積 [mL]}; V_0: \text{膨潤前体積 [mL]}$$

長
↓
溶媒-PVC間HSP距離

Solvent	Volumetric swelling ratio (R_{swel}) [-]			
	20 min (18 °C)	40 min (18 °C)	60 min (18 °C)	80 min (18 °C)
THF	Dissolution			
Acetone	1.9 ± 0.1 ^a	2.4 ± 0.0	2.9 ± 0.0	3.0 ± 0.0
Ethyl acetate	1.7 ± 0.1	1.9 ± 0.1	2.1 ± 0.1	2.5 ± 0.0
<i>n</i> -Propyl formate	2.3 ± 0.1	2.8 ± 0.0	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.0
MiBK	Partial dissolution			
<i>n</i> -Butyl acetate	2.4 ± 0.0	3.1 ± 0.0	3.4 ± 0.1	3.5 ± 0.1
1,4-Dioxane	2.2 ± 0.0	2.9 ± 0.0	3.3 ± 0.0	3.3 ± 0.0
<i>n</i> -Propyl acetate	2.8 ± 0.0	3.3 ± 0.0	3.3 ± 0.0	3.3 ± 0.1
Isobutyl acetate	2.1 ± 0.0	2.3 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.5 ± 0.1
Isopropyl acetate	1.9 ± 0.1	2.1 ± 0.0	2.2 ± 0.1	2.2 ± 0.1
Benzene	1.1 ± 0.0	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0	1.3 ± 0.0
Diethyl ether	0.9 ± 0.0	0.9 ± 0.0	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.0
Petroleum ether	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	0.9 ± 0.0
Ethanol	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0
Water	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0

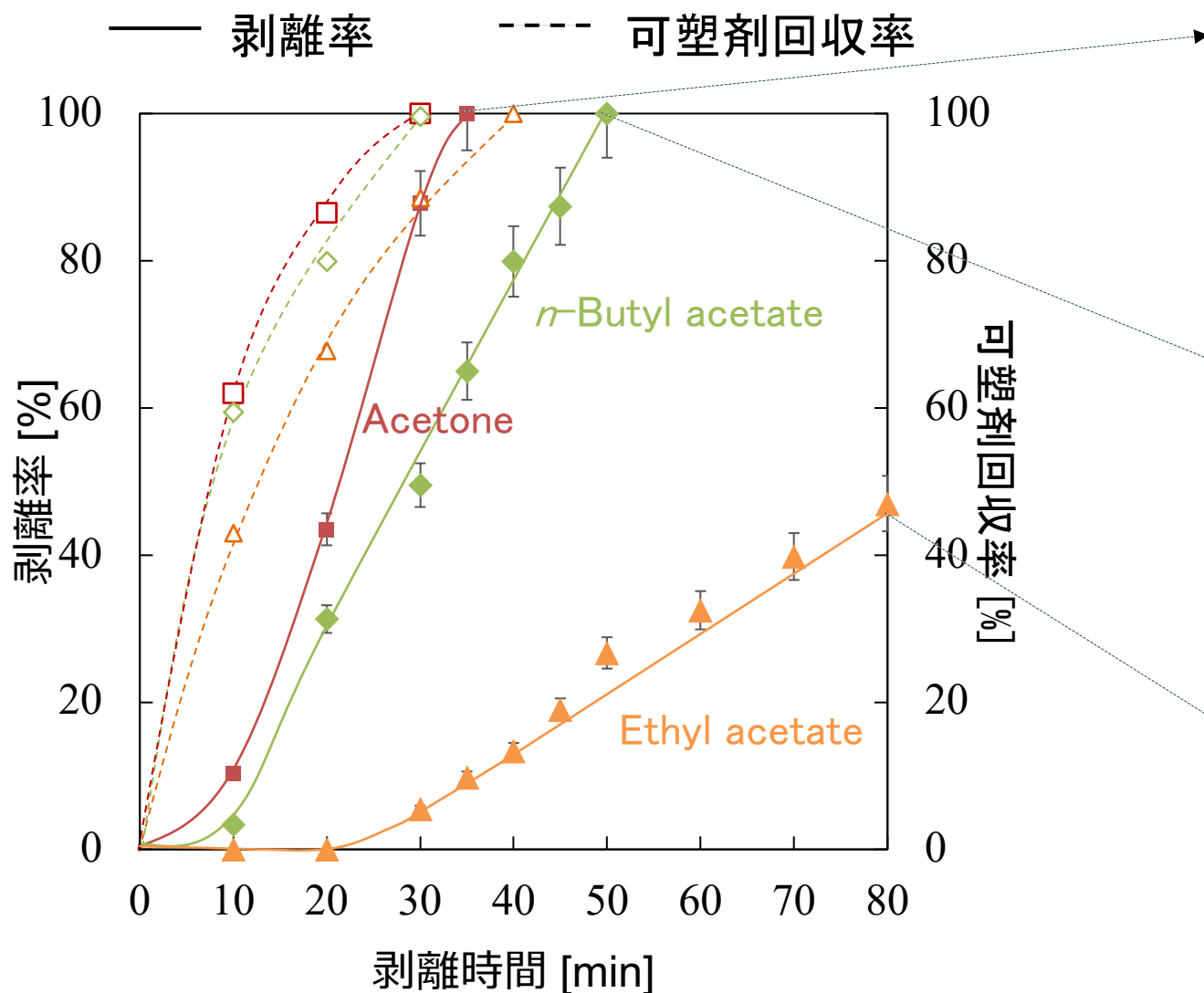
溶媒-PVC間(R_a [S-PVC]) HSP距離



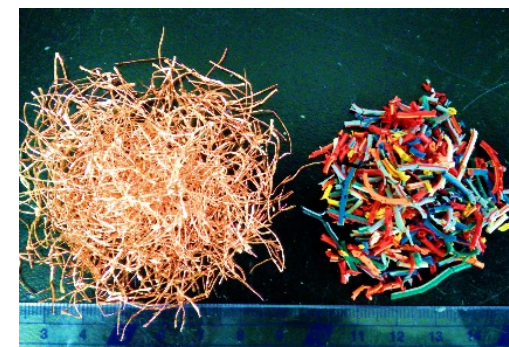
^aStandard deviation determined from ten results of 10 experiments.

新技術の特徴

1ステッププロセスによる剥離結果の例



Acetone



n-butyl acetate



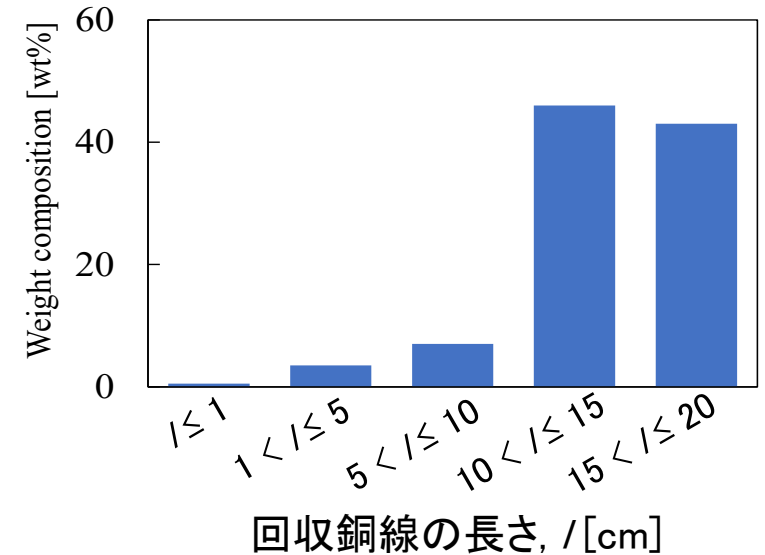
Ethyl acetate

実験条件：試料: 12.8 g; 溶媒: 100 mL; ミル回転速度: 45 rpm; 球: 20 mmΦ × 20個

新技術の特徴

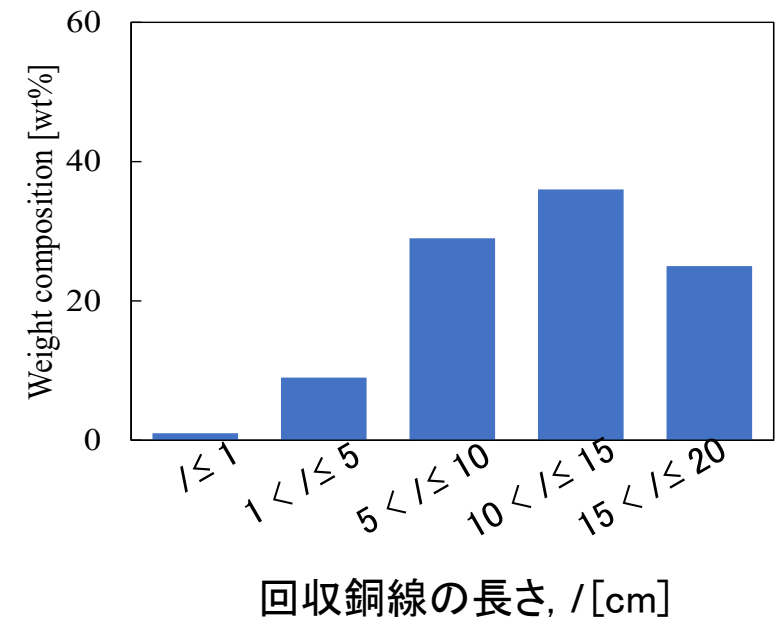
n-Butyl acetate

試料: 膨潤済20 cmケーブル
 ミル: 20 mmΦ球 × 20、45 rpm、
 55 min
 剥離率100%時



Acetone

試料: 膨潤済20 cmケーブル
 ミル: 20 mmΦ球 × 20、45 rpm、
 65 min
 剥離率100%時

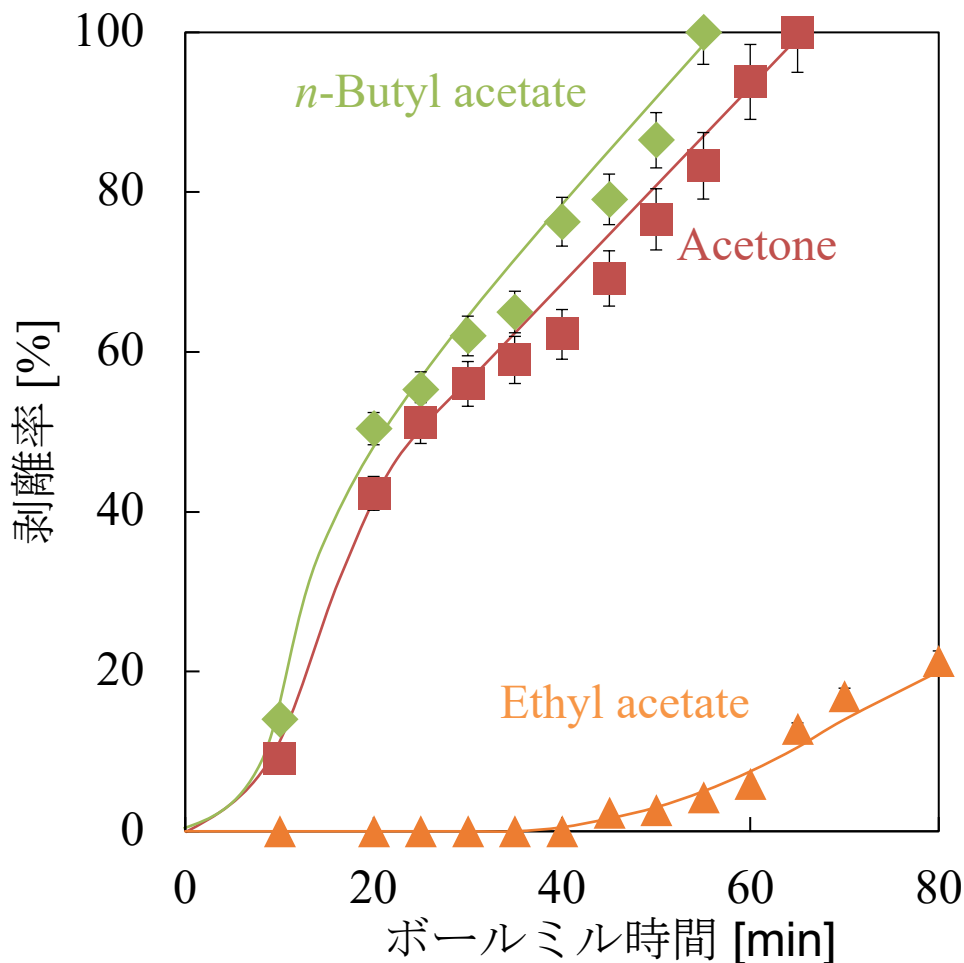


新技術の特徴

2ステッププロセスによる剥離結果の例

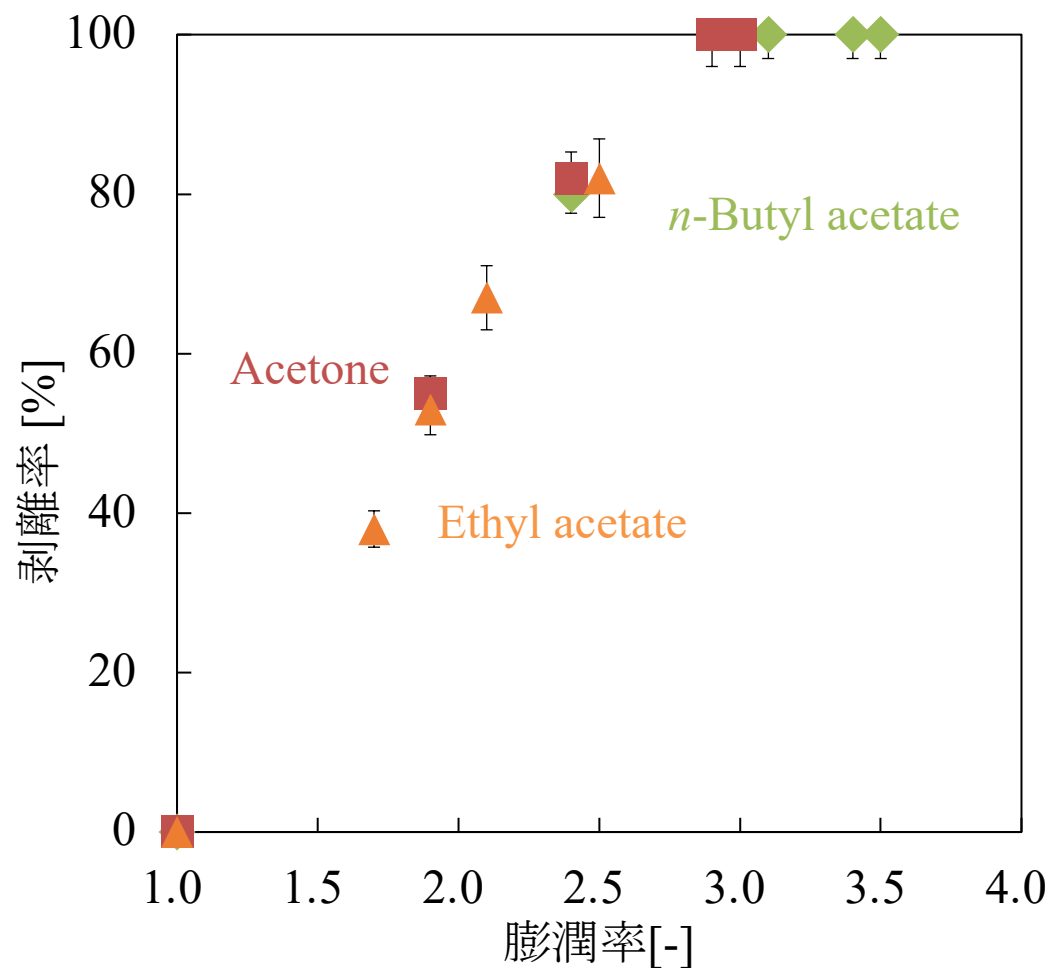
膨潤溶媒の影響

試料: 80 min膨潤済20 cmケーブル 12.8 g
ミル: 20 mm Φ \times 20球、回転速度: 45 rpm



剥離率(Y_{sep})と膨潤率(R_{swel})の関係

試料: 膨潤済5 cmケーブル 12.8 g
ミル: 20 mm Φ \times 20球、45 rpm、40 min



新技術の特徴

膨潤溶媒および可塑剤の回収率

試験方法	剥離温度	溶媒回収位置	溶媒回収率 [%]		可塑剤回収率 [%]	
			Acetone	<i>n</i> -Butyl acetate	Acetone	<i>n</i> -Butyl acetate
1ステップ	17 °C	反応器	85.9	86.5	99.1	98.9
		被覆材乾燥	10.4	10.8	—	—
		計	96.3	97.3	—	—
	35 °C	反応器	85.0	86.3	100.0	100.0
		被覆材乾燥	10.4	11.0	—	—
		計	95.4	97.3	—	—
試験方法	浸漬温度	溶媒回収位置	溶媒回収率 [%]		可塑剤回収率 [%]	
			Acetone	<i>n</i> -Butyl acetate	Acetone	<i>n</i> -Butyl acetate
2ステップ	17 °C	浸漬容器	89.9	90.0	99.6	98.8
		被覆材乾燥	2.5	5.8	—	—
		計	92.4	95.8	—	—
	35 °C	浸漬容器	88.7	89.3	100.0	100.0
		被覆材乾燥	3.2	5.5	—	—
		計	91.9	94.8	—	—

想定される用途

- 廃自動車や廃家電から発生するワイヤーハーネスのリサイクル
- 電線製造工程で発生する製造ロス品のリサイクル

実用化に向けた課題

- プロセスのスケールアップおよび連続処理プロセスの検討
- ワイヤーハーネスに含まれる被覆電線以外の部品（コネクタ、テープ等）の処理方法検討

企業への期待

- 本技術を導入したい、もしくは導入したいがハードルを感じている企業との意見交換
- 廃棄物処理やリサイクルに精通した企業との意見交換（銅線・樹脂被覆材のリサイクル）
- 自動車・家電メーカーとの意見交換
- プロセス・装置設計を得意とする企業との意見交換

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 被覆電線の分離方法
- 出願番号 : 特願2019-231768
- 出願人 : 三菱マテリアル株式会社、
国立大学法人東北大学
- 発明者 : 高橋憲史、林浩志、
吉岡敏明、熊谷将吾

お問い合わせ先

株式会社東北テクノアーチ
技術移転マネージャー 岡田梨可

TEL 022-222-3049

FAX 022-222-3419

e-mail okada@t-technoarch.co.jp