



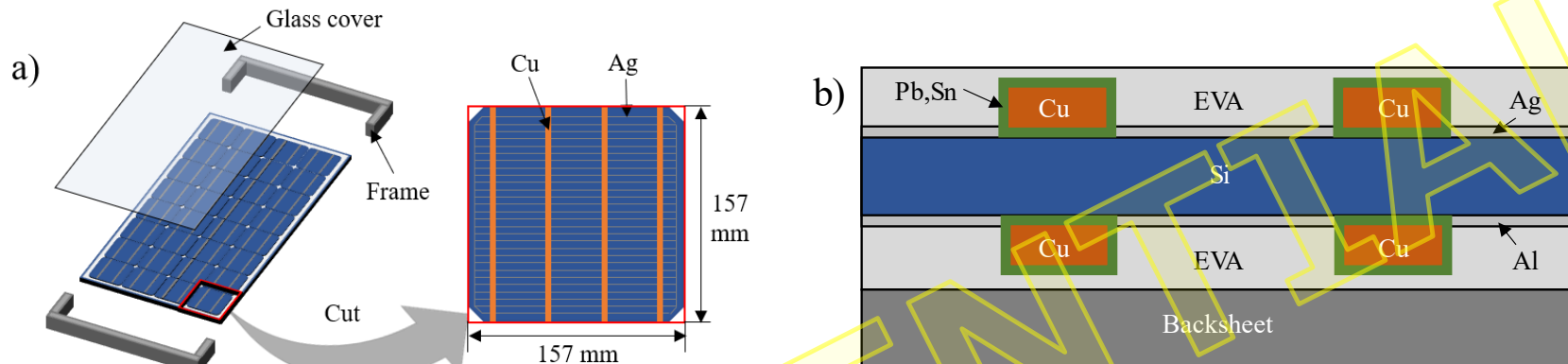
火曜7時台 聞きたい「太陽光パネル 迫る大量廃棄」/ここに注目!/気象

初回放送日:2026年6月2日

「マイあさ！」火曜7時台 ▼キャスター:野村正育・福島佑理 ▼気象情報:浜岡友美 ▽けさの“聞きたい”「太陽光パネル 迫る大量廃棄時代 再生エネのその先を考える」所千晴(早稲田大学 教授)・杜雨凝ディレクター ▽ここに注目!高田洋(解説委員) ▽気象情報 ☆『マイあさ!』はWEB「NHKONE らじる★らじる」で生配信。聴き逃しサービスも実施中です。

太陽光パネルリサイクル技術の概要

シリコン系のほかに、化合物系（CIS系、CIGS系、CdTe系）、有機物系



成分例 (wt%)

C	Si	Na	Mg	Al	Ca	Cu	Ag	O	Others
2.40	42.22	7.29	1.42	1.68	13.82	0.70	0.028	28.15	2.29

プロセス	単位操作	長所	短所
選別系	破碎・物理選別	大量処理 低コスト	低精度
解体系	機械的解体 (ホットナイフ, 削り出し, ブラスト工法, 回転リサイクル, ハンマー, 二軸法)	高精度	低処理量
化学系	加熱・加圧・浸出	高精度	高コスト

想定されるガラス再利用先の例



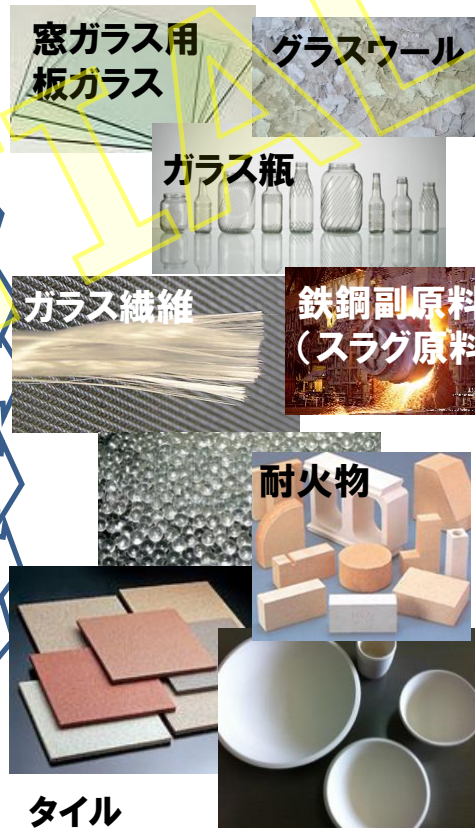
使用済太陽光パネルガラス

成分・色

不純物濃度

需給量

輸送距離

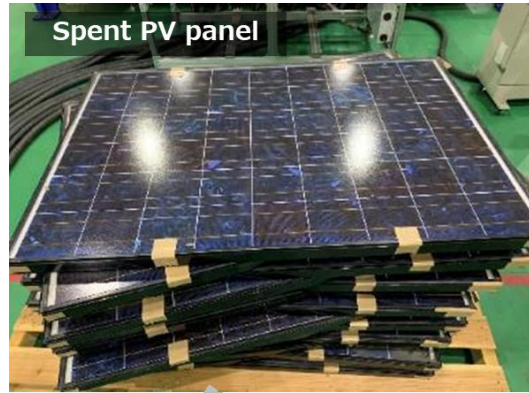


ガラス製造の省エネルギー化効果
石灰石、珪石、ドロマイト、長石、粘土などの天然資源投入削減効果

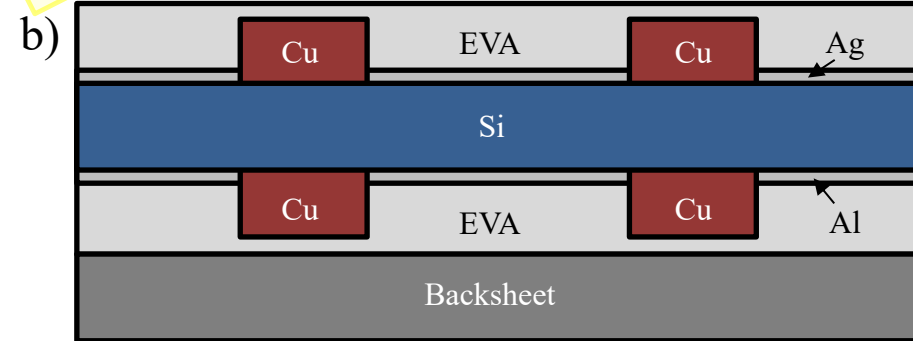
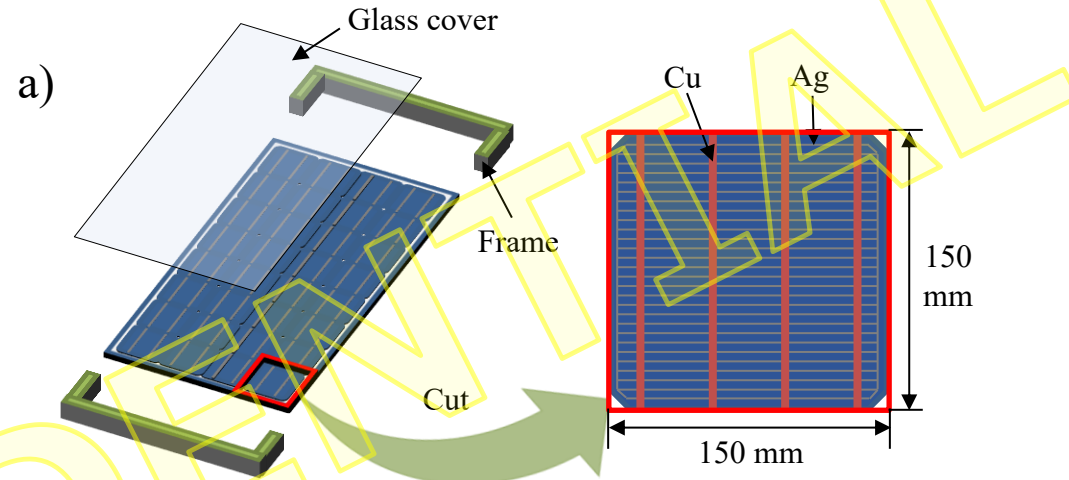
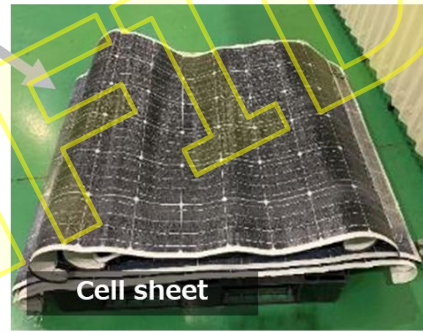
重量の60 – 70%を占めるガラスを廃棄物にしない工夫が必要。

ガラス再資源化協議会提供資料

太陽光パネルセルシートからの金属回収

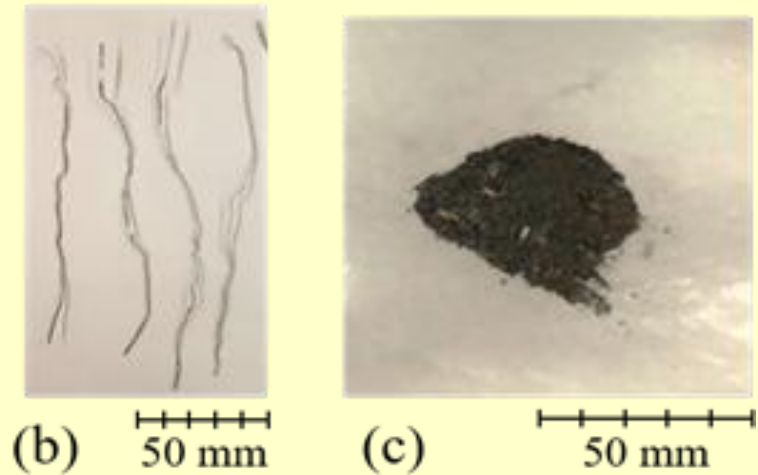
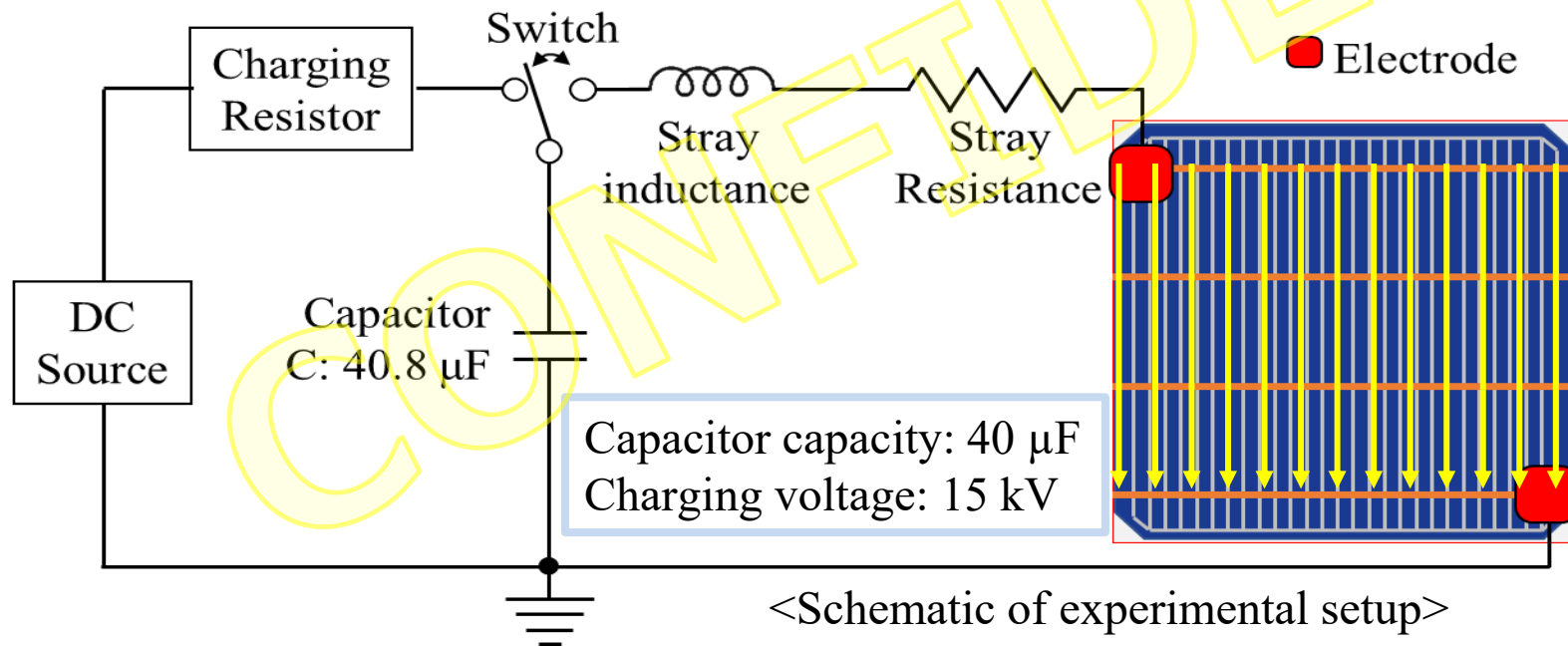
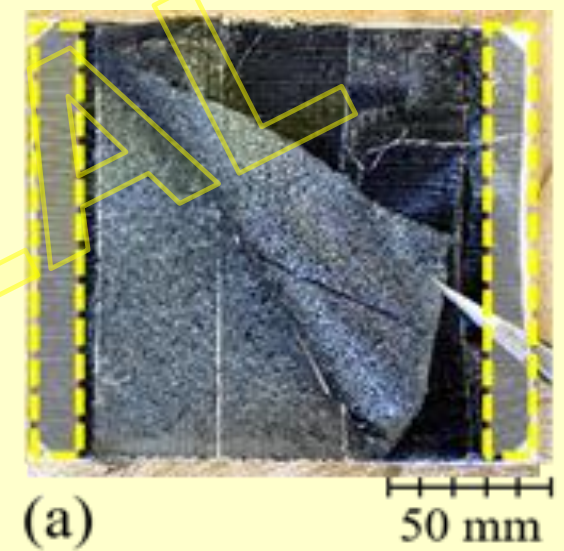
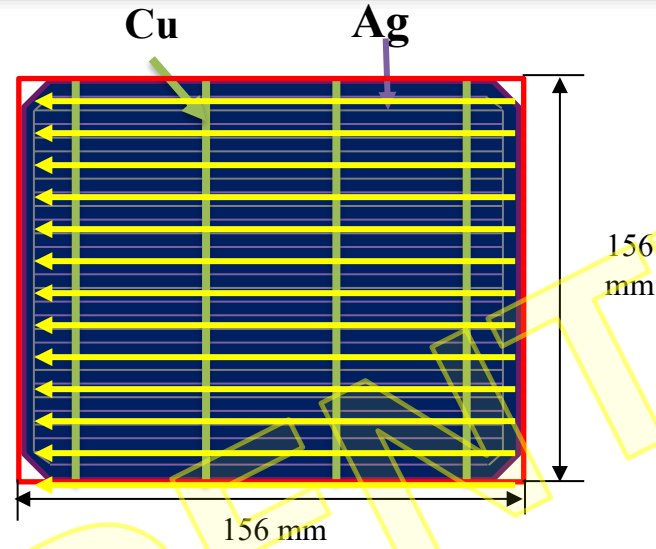
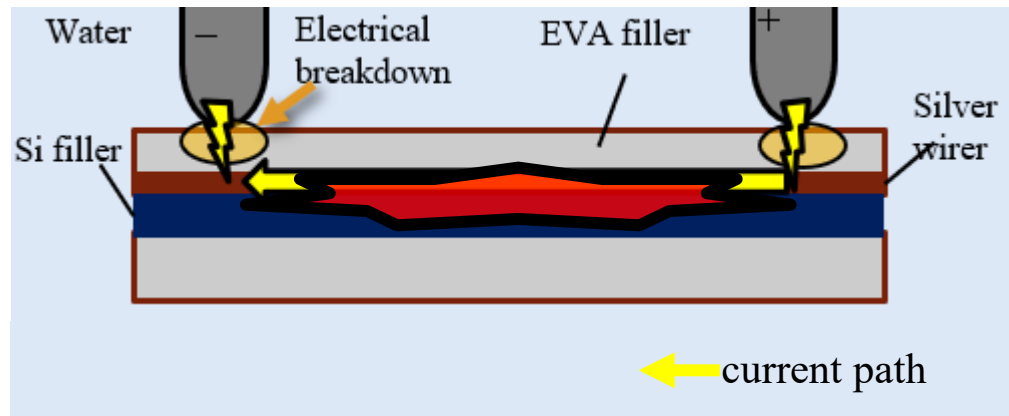


Conventional
mechanic separation

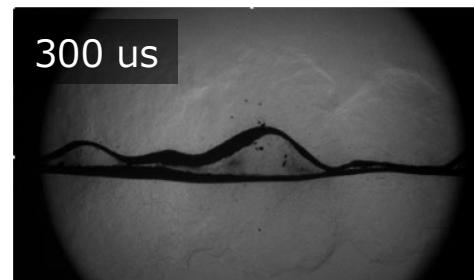
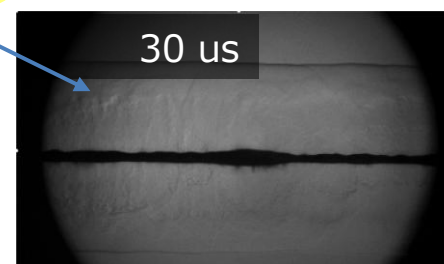
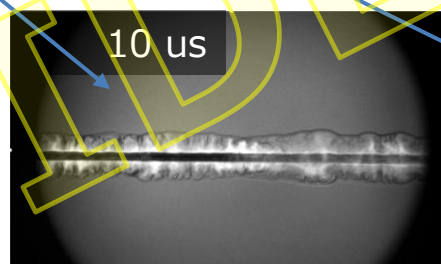
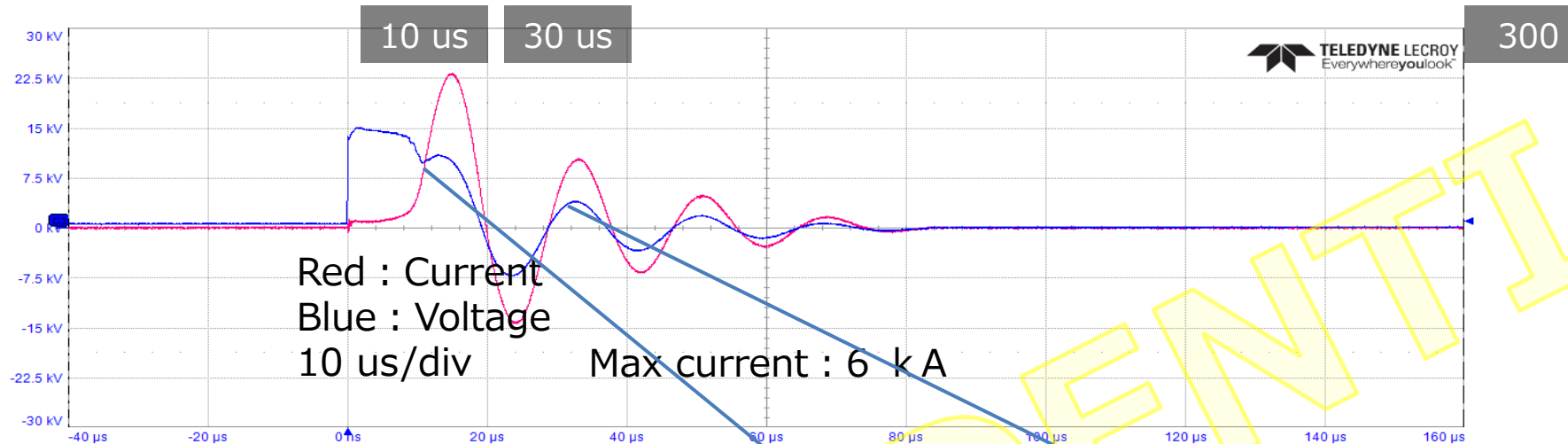


セルシートからの金属回収

太陽光パネルセルシートへの電気パルス印加方法と分離の様子



太陽光パネルセルシートにおける電気パルス放電現象の観察



Tokoro, C., et al., "Copper/Silver Recovery from Photovoltaic Panel Sheet by Electrical Dismantling Method", International Journal of Automation Technology, 14(6), 966-974 (2020) .

Lim, S., Tokoro, C., et al., "Recovery of silver from waste crystalline silicon photovoltaic cells by wire explosion", IEEE Transactions on Plasma Science, 49(9), 2857-2865 (2021) .

Koita, T., Tokoro, C., et al., "Comparison of size distributions of recovered particles generated from Ag wire in air by pulsed wire discharge and electric explosion of wire methods", Advanced Powder Technology, 34(11), 104227, 1-14 (2023) .

Takaya, Y., Tokoro, C., et al., "Effect of electric pulse treatment on silver recovery from spent solar panel sheet by acid-leaching", Journal of Material Cycles and Waste Management, 26, 2591-2598 (2024) .

Heiho, A., Tokoro, C., Kikuchi, Y., et al., "Prospective life cycle assessment of recycling systems for spent photovoltaic panels by combined application of physical separation technologies", Resources, Conservation and Recycling, 192(5), 106922 (2023) .

(参考) 経済安全保障推進法に基づく「重要鉱物に係る安定供給確保を図るための取組方針」(抜粋②)

第2章 第1節 施策の基本的な方向及び目標

- これまで我が国は、JOGMECによる資源探査及び民間プロジェクトへの出融資などのリスクマネー供給、資源国との関係強化外交等を通じて、鉱物資源の確保を図ってきたところである。
- これらの施策は、我が国企業の鉱山開発事業等への参画を促す有効な支援措置であり、資源確保や供給源の多角化に一定の成果を上げてきた。一方で、世界的な鉱山開発プロジェクトの奥地化・深部化、鉱石品位の低下等に伴う上流開発環境の悪化に加え、環境対策・人権問題への追加対応コストにより、鉱山開発費用は上昇傾向にあり、鉱山開発プロジェクトの経済性・収益性は悪化している。また、我が国企業が事業参画に慎重な一方で、他国による採算度外視の投資により、権益確保に競り負ける事象もみられる中、既存施策だけでは権益確保に対応しきれない事態も生じている。我が国企業の鉱山開発投資を促し、競合に競り負けないためのより踏み込んだ支援措置が求められている。
- また、例えば、リチウムは、鉱石の製錬に多大なエネルギーを消費するため、リチウム鉱石の多くが豪州で採掘されているにもかかわらず、製錬処理は中国に集中しているなど、鉱物資源の製錬工程は、エネルギーコストや環境コストの低い特定国に過度に依存している状態にあることから、専占化する製錬工程の多角化を進め、特定国への依存を低減する必要がある。
- 従って、我が国企業が新たな有望鉱山を発見するための探鉱・FS(フィージビリティスタディ)や鉱物資源を採掘・生産するための鉱山開発、選鉱・製錬施設の建設、鉱物資源生産の高効率化や低コスト化を図るための技術開発等への助成措置による支援と他制度による施策を併せ講じることにより、重要鉱物のサプライチェーンの多様化・強靱化を図り、我が国への重要鉱物の安定供給確保を実現する必要がある。

第2節 実施する個別施策

① 施策の対象となる品目

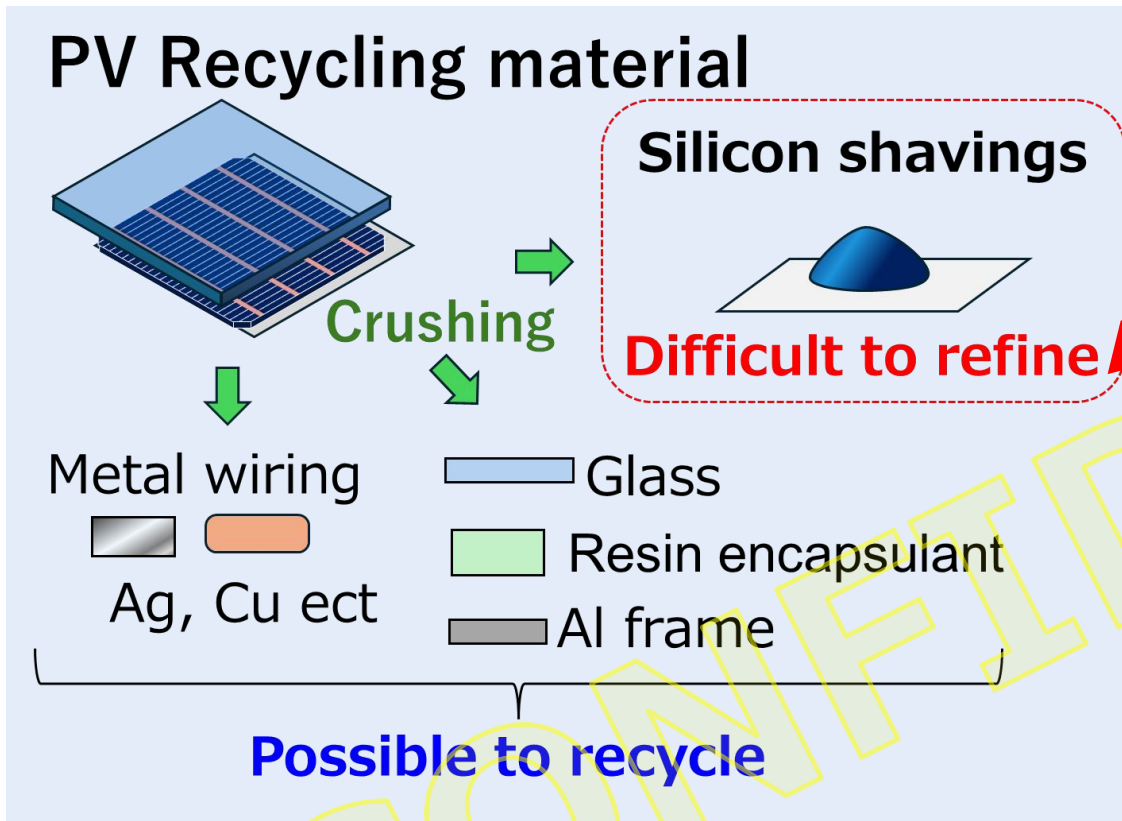
- 金属鉱産物(マンガン、ニッケル、クロム、タングステン、モリブデン、コバルト、ニオブ、タンタル、アンチモン、リチウム、ボロン、チタン、バナジウム、ストロンチウム、希土類金属、白金族、ベリリウム、ガリウム、ゲルマニウム、セレン、ルビジウム、ジルコニウム、インジウム、テルル、セシウム、バリウム、ハフニウム、レニウム、タリウム、ビスマス、グラファイト、フッ素、マグネシウム、シリコン及びリンに限る。)

(注) なお、当面の間、リチウムイオンバッテリーの原材料となるマンガン、ニッケル、コバルト、リチウム及びグラファイト、永久磁石の原材料となる希土類金属、半導体等の原材料となるガリウム及びゲルマニウムを施策の対象とする。

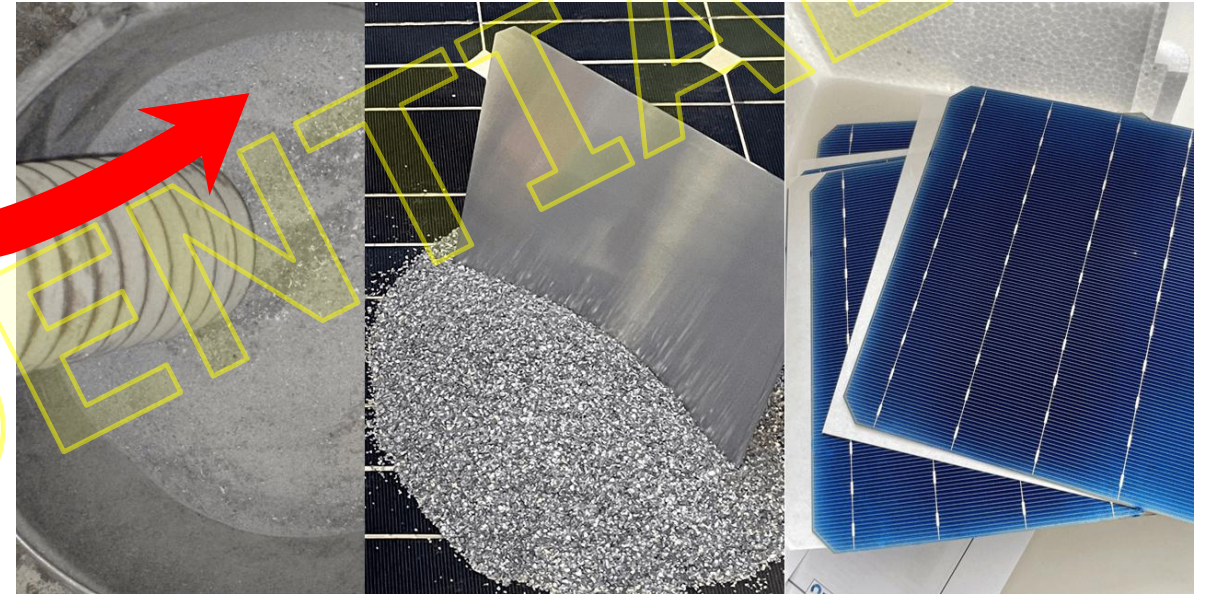
13

経済産業省 資源・燃料分科会資料

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/mining/pdf/001_03_00.pdf



PERC solar cells from 100 % recycled silicon^[2]



[2] Fraunhofer society, Reiling GmbH & Co. Press release in 2022

It is costly to remove impurities from crashed silicon and re-manufacture wafers.

マイクロ波照射による選択的分離

装置：μReactor Ex

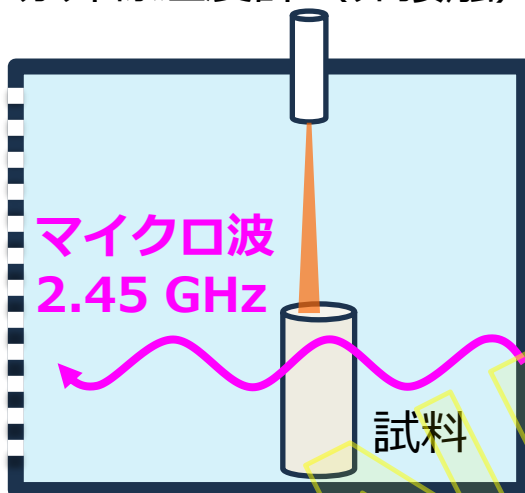
マグネトロン：1000 W × 1機、背面

内寸280W × 280D × 250H

赤外線温度計（非接触）

窓/扉

カメラ



マイクロ波加熱の式

$$Q = \frac{1}{2} \sigma |E|^2 + \frac{1}{2} \omega \varepsilon'' |E|^2 + \frac{1}{2} \omega \mu'' |B|^2$$

Q : 加熱率 E : 電界 B : 磁界 ω : 角周波数

σ : 導電率 ε'' : 損失誘電率 μ'' : 損失透磁率

マイクロ波



金属では反射→加熱されない
(侵入長 $\sim 1 \mu\text{m}$)



ガラス、樹脂は透過→加熱されない

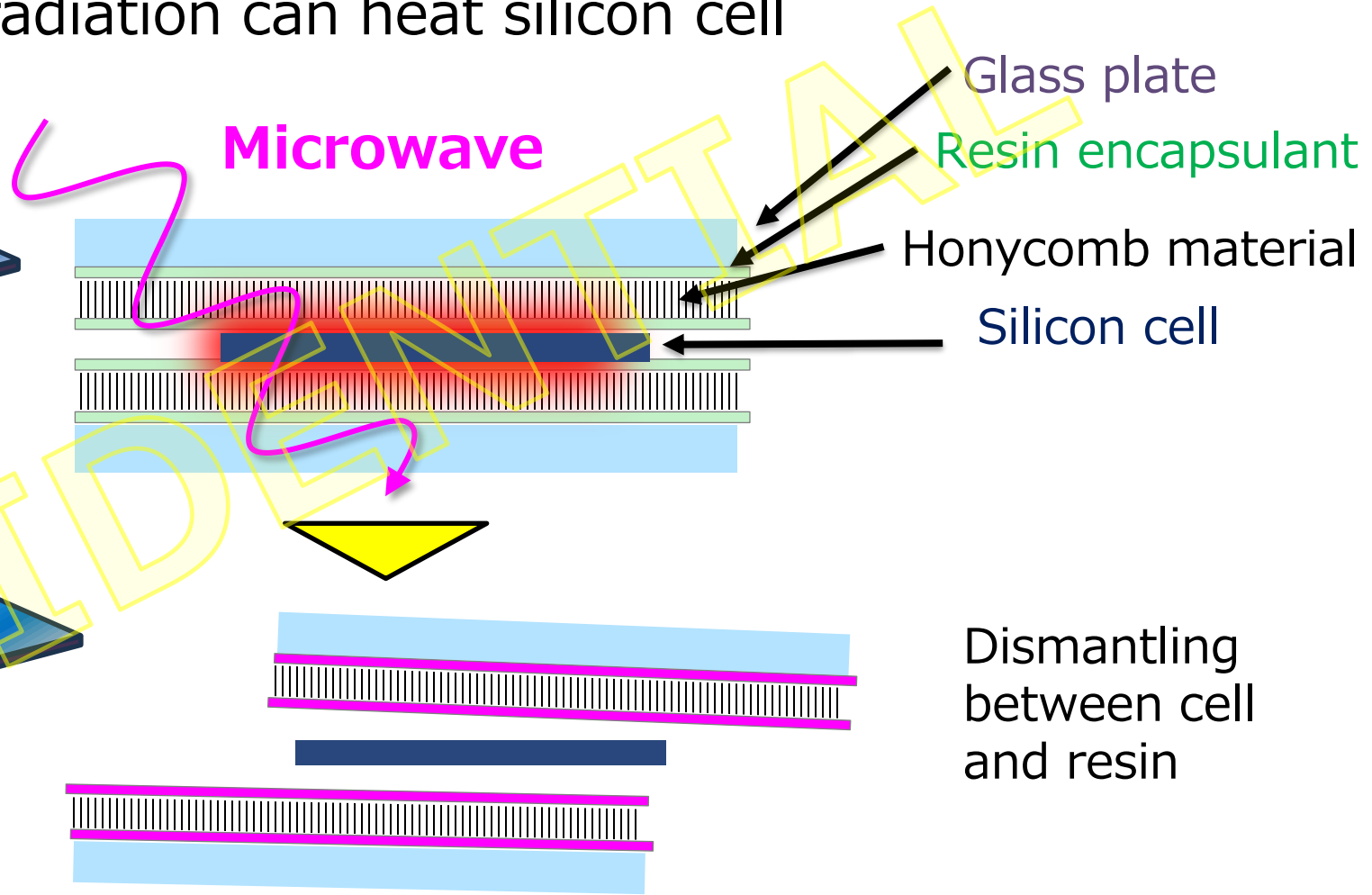
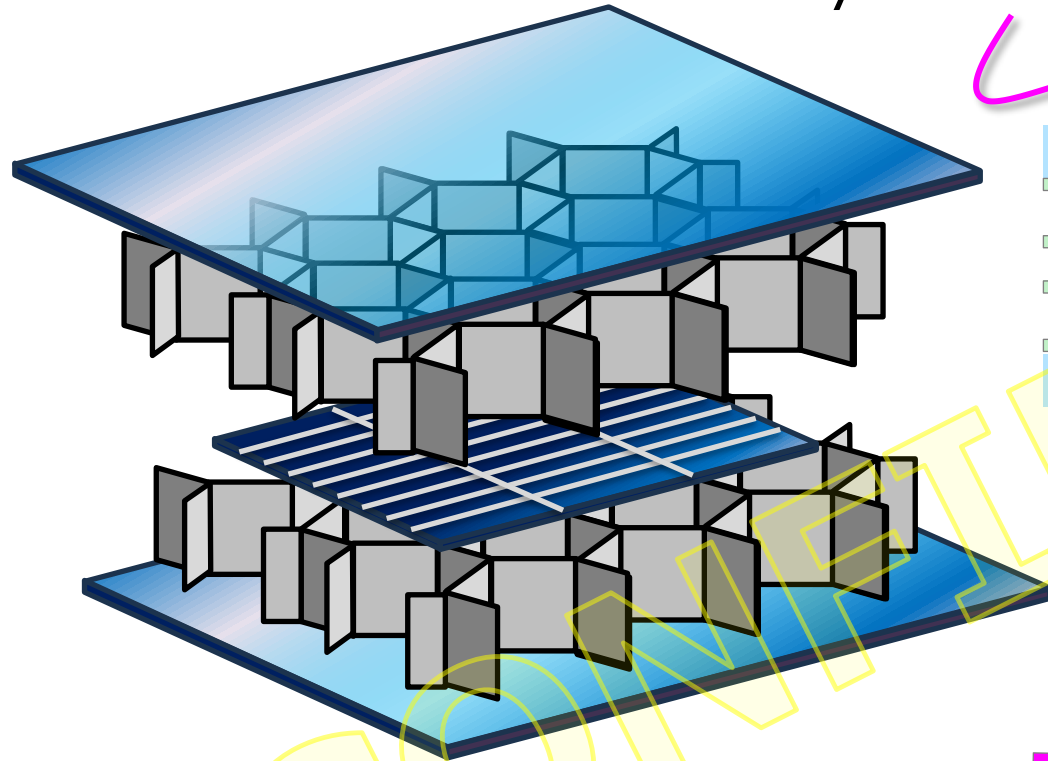


水、アルコール、半導体で
吸収・発熱

導電率・損失誘電率が高い物質を選択的に加熱可能

Novel PV module for direct recycling of Silicon cell

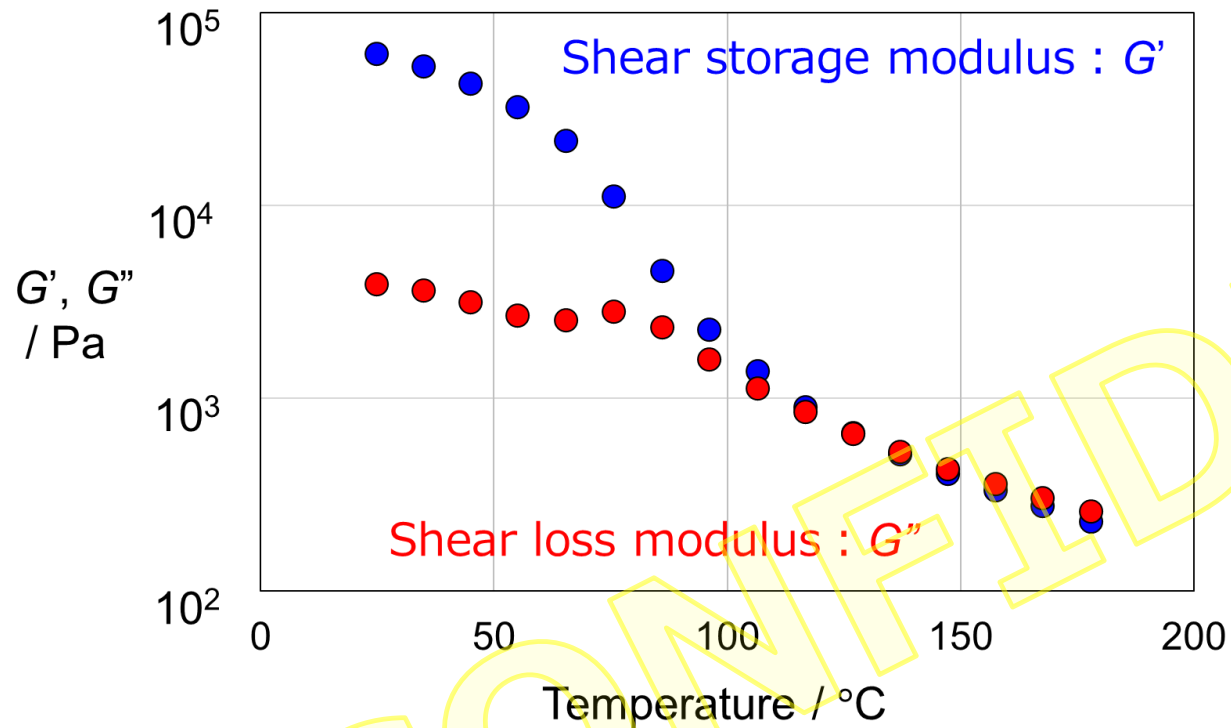
Microwave irradiation can heat silicon cell selectively



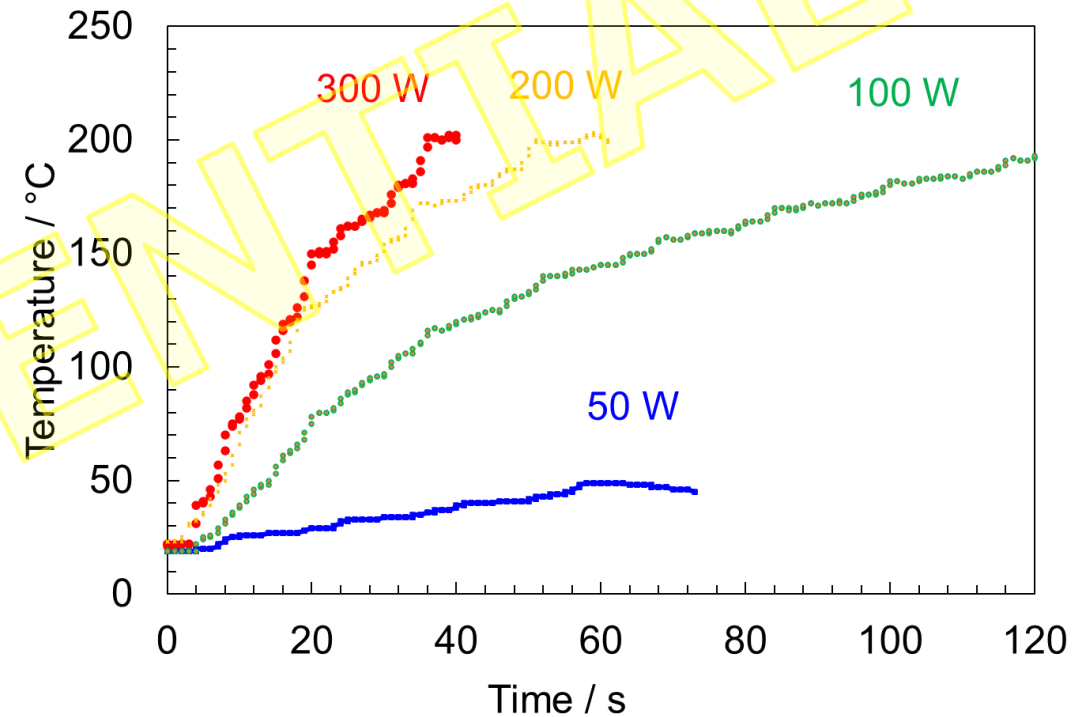
By using paper honey-comb layers,

- Light weight and high rigidity
- Si cell can be heated with less heat dissipation

Rheological property of resin



Microwave heating of silicon cell in PV module

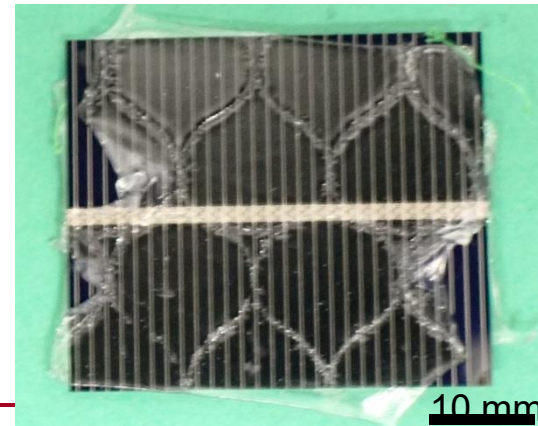
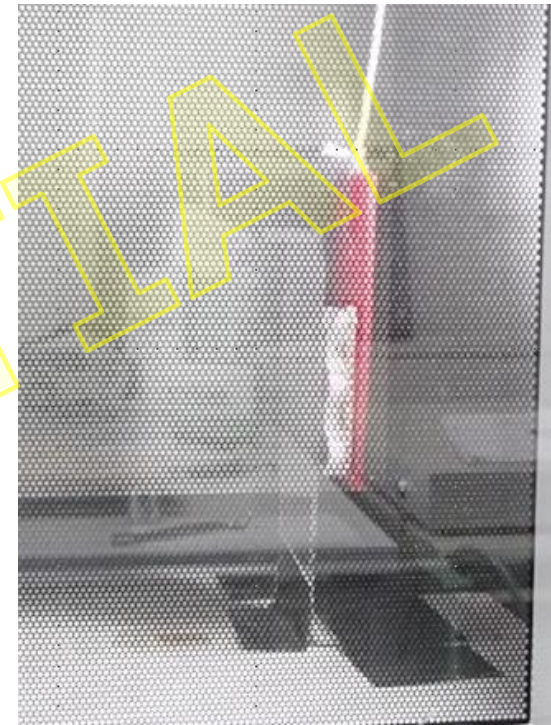
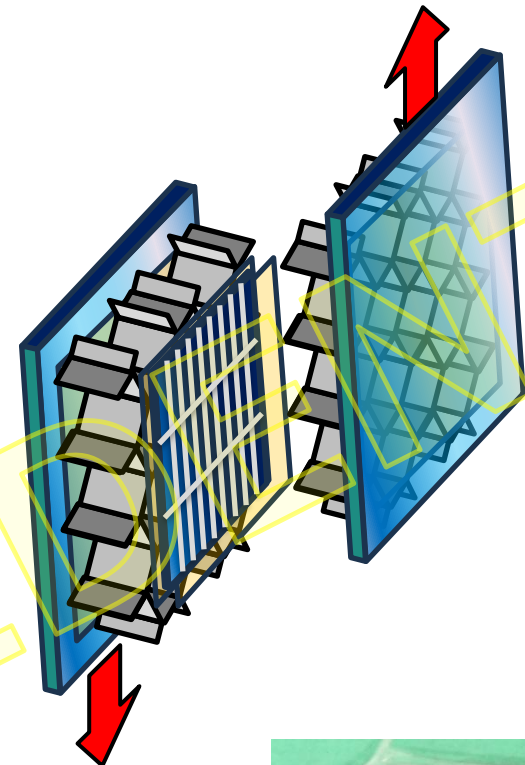
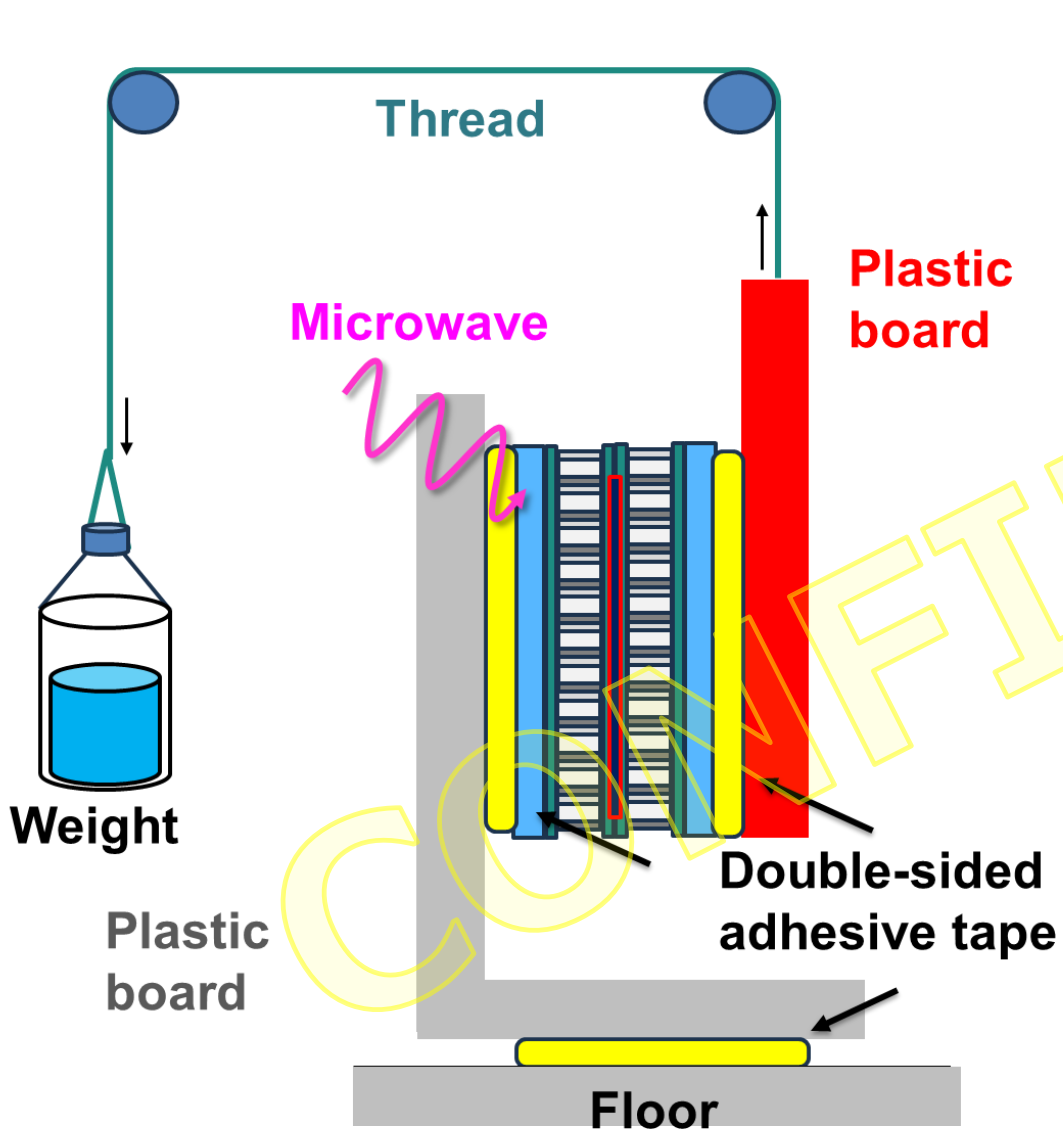


Resin encapsulant melted at around 120 $^{\circ}\text{C}$

Temperature of silicon cell in PV module could rise to over 200 $^{\circ}\text{C}$ in a few minutes at 100 W or more

Microwave heating

Dismantling of PV module and recovery of silicon cell



フィルム型ペロブスカイト太陽電池の前処理を主軸としたリサイクルプロセス提案

環境省
ERCAプロジェクト

積水化学工業
(研究協力者)

ペロブスカイト
太陽電池

提供

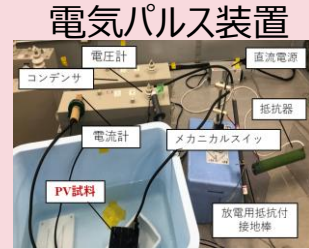


サブテーマ1：早稲田大学 所千晴 (研究代表者)

リサイクルプロセス開発の方向性検討および易分解設計へのフィードバック

次世代型分離 プロセス

・電気パルス, マイクロ波による誘電加熱, 誘導加熱等



現行のリサイクルプロセスを活用したフィルム型ペロブスカイト太陽電池の処理プロセスを確立

次世代型の新規分離技術として, 電気パルス・誘電加熱・誘導加熱を検討し, 有効性を示す。

高度資源循環達成を補完する易解体設計の指針を提案

〔 選択的加熱法を活用し, モジュールの解体, 配線金属の回収の有効性を解明 〕

連携



サブテーマ2：東京大学 高谷雄太郎

物理的分離を主軸としたリサイクルプロセス検討

物理的分離 プロセス

・粉碎, 分級, 比重選別, 渦電流選別, 磁選等



ボール
ミル



振動
ミル

〔 各種物理選別による有害物質, 金属, 樹脂の分離を定量的に解明 〕



サブテーマ3：早稲田大学 神谷秀博

化学的分離を主軸としたリサイクルプロセス検討

化学的分離 プロセス

・加熱, 浸出等

鉛, 銅, ヨウ素, レアメタル
ヨウ化メチルアンモニウム
フッ素, 有機化合物

分離回収
化学物質リスク把握

〔 溶出条件, 加熱条件, 雰囲気などが
分離挙動に与える影響を解明 〕

2025年度

2026年度

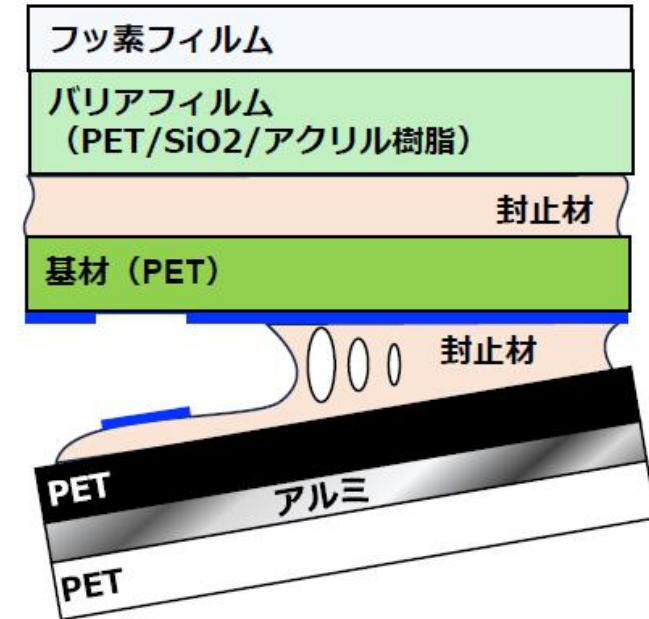
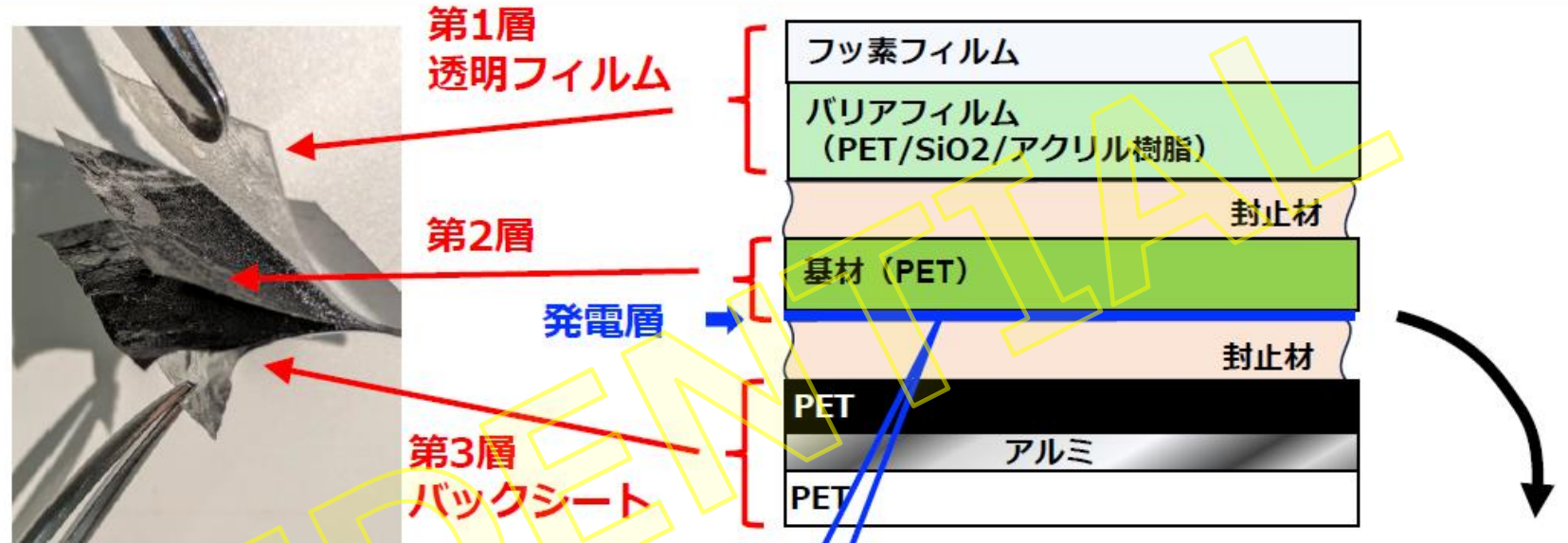
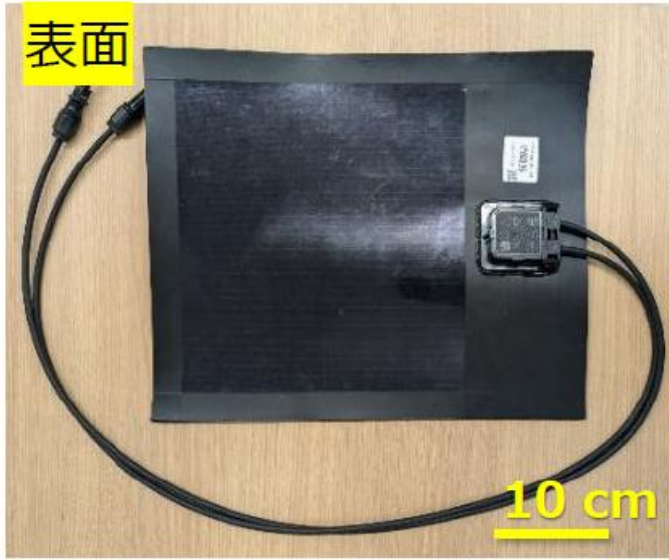
2027年度

①リサイクルプロセス処理挙動の解明

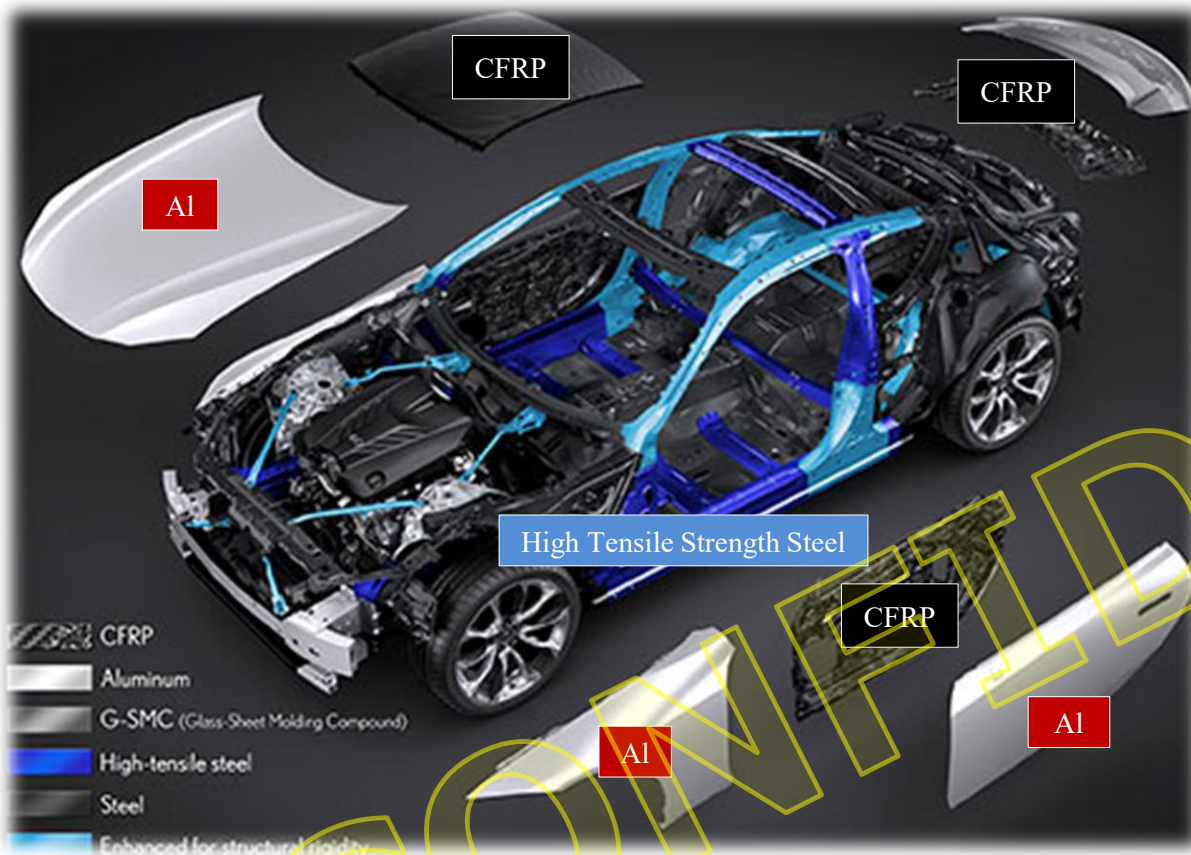
②新規分離プロセス提案

③最適リサイクルプロセス易分解設計方向性の提示

フィルム型製品も精緻解体が今後重要となる



CFRP（炭素繊維強化プラスチック）への電気パルス分離適用



<https://www.lexus.com.bh/lexus-lc-performance-multi-material-body>

風力発電のタービンブレード



CFRP: 0.3 mm
Steel Plate: 1.0 mm

<https://www.adeka.co.jp/develop/laboratory/polymer/>

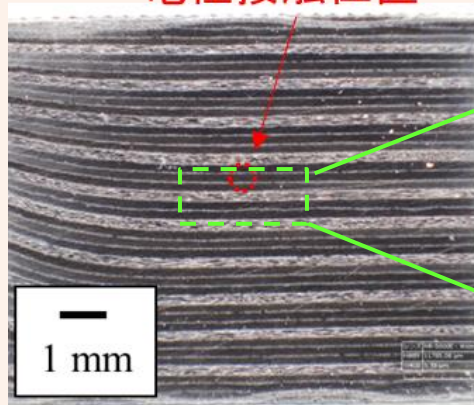
CFRP/GCRPはカーボンニュートラルのための軽量化・高機能素材として重要視されている



しかし、その循環・再生・処理のための分離はますます困難化

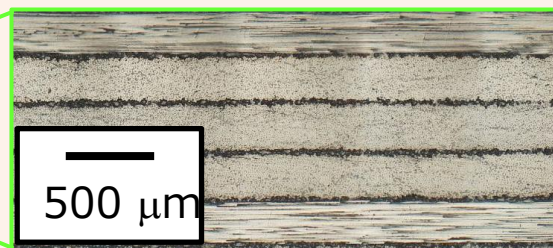
電気パルス外部刺激によるCFRPの粗解体

電極接触位置



CFRP側面の顕微鏡写真(倍率30倍)

炭素繊維の配向角度を45°
ずつ変化させて積層



CFRP側面の顕微鏡画像(倍率200倍)

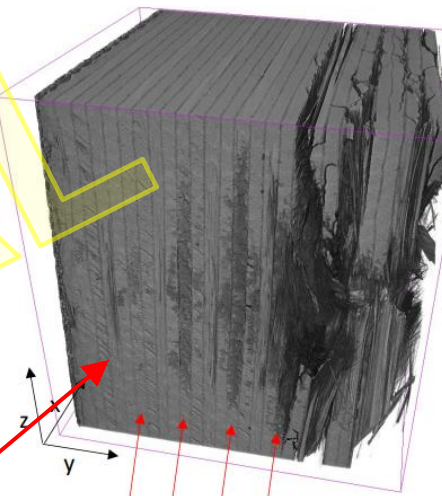
←横手方向

←奥行方向

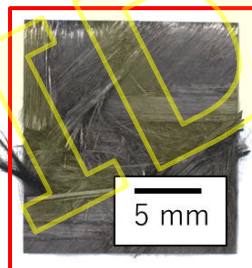
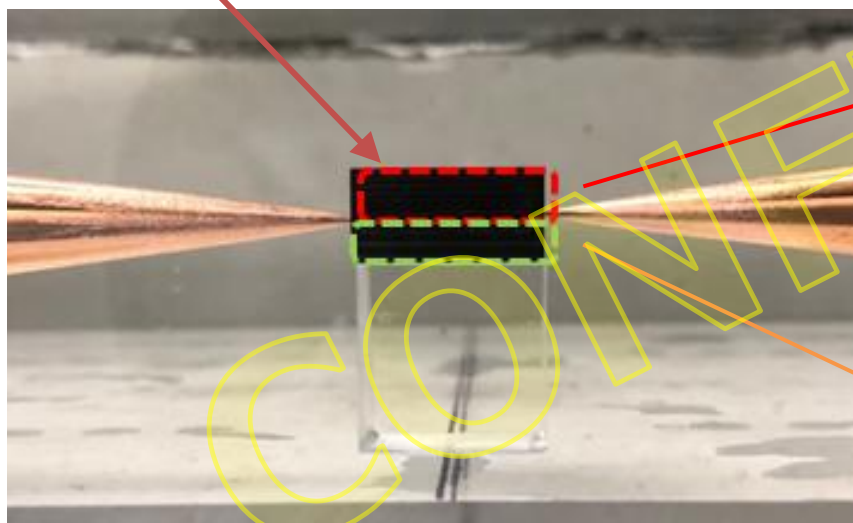
←横手方向

X線CT分析による観察

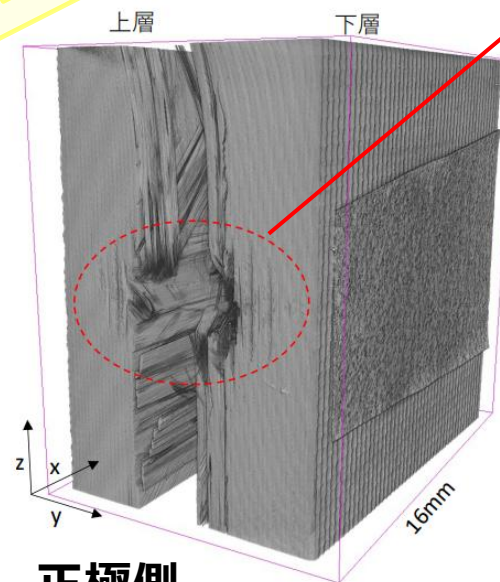
- ・電極を設置した90°配向層以外の90°配向層も選択的に破壊
- ・分離した樹脂には亀裂や気泡の跡



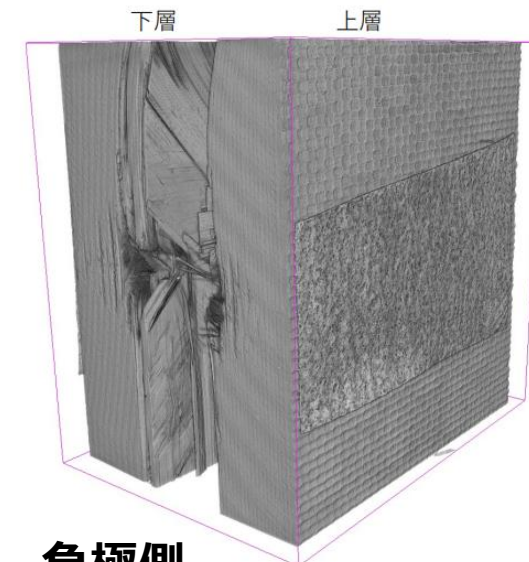
CF配向方向に沿って放電が発生



30 kV, 360Jにて針状電極を用い, CFの配向方向に沿って放電
⇒ 層間分離を達成



正極側



負極側

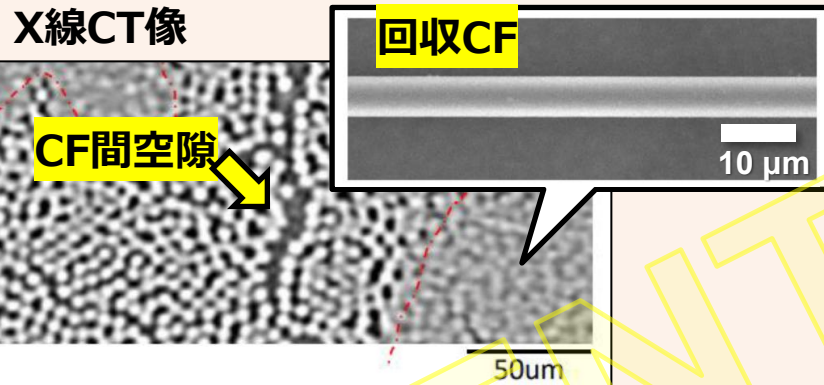
電気パルス外部刺激によるCFRPからのCF回収



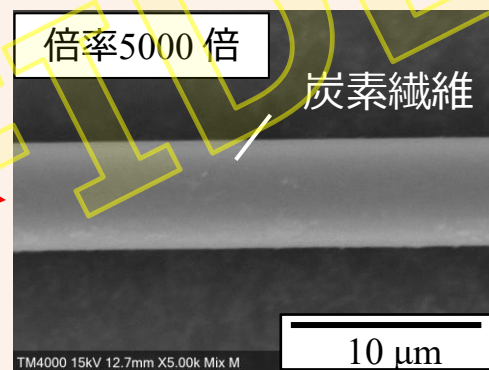
10 mm



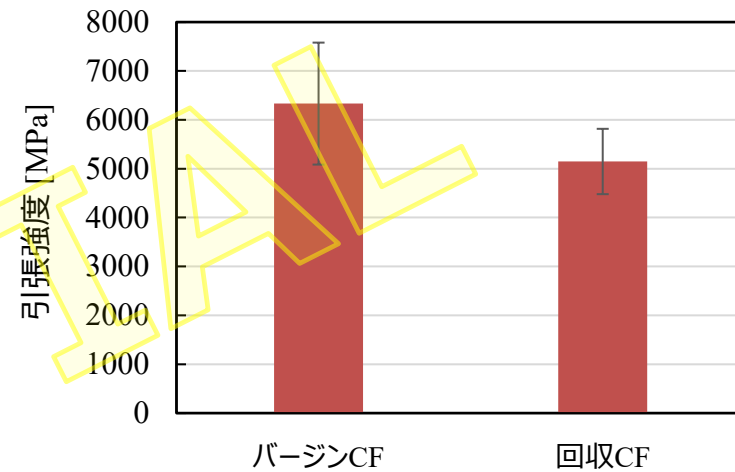
10 kV, 4000JにてCFRPに対して垂直に放電
⇒ 第1層目からCF回収を確認



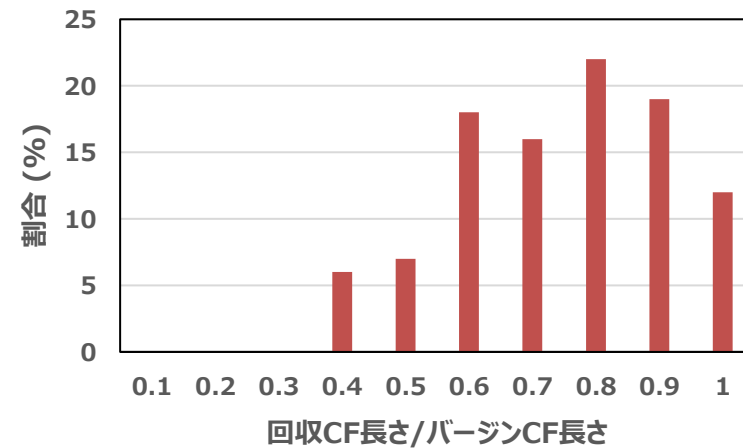
回収CFが樹脂と分離する様子を観察



回収された炭素繊維のSEM画像
表面に樹脂が付着せず、傷なども認められない回収CFを確認



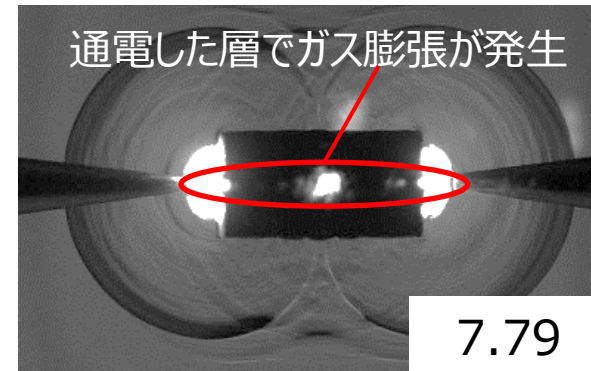
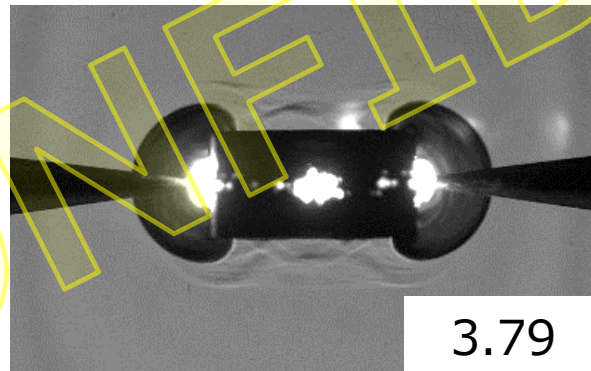
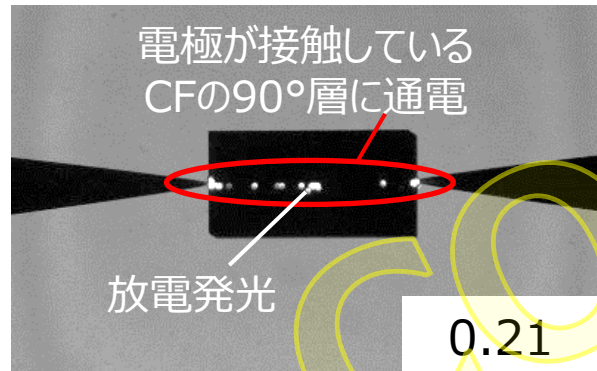
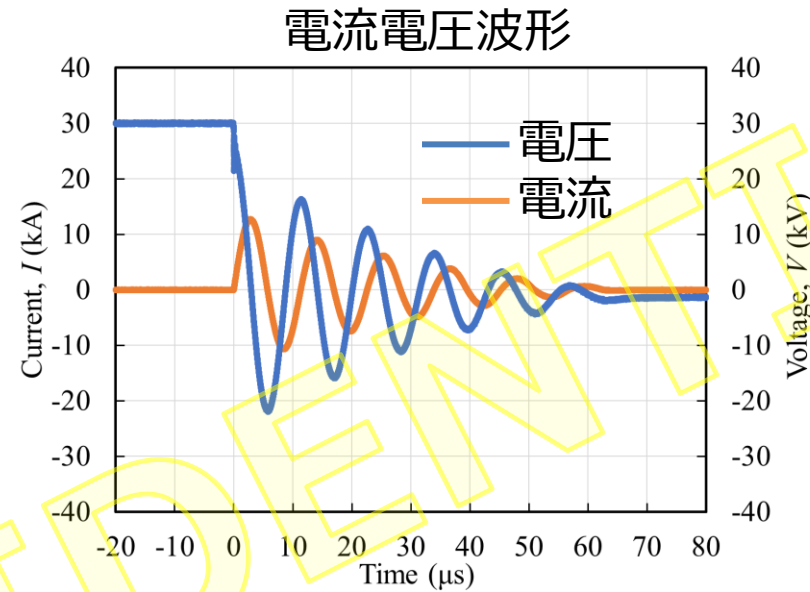
回収CFの強度：バージンCFの80%以上を維持（熱分解では50%程度まで減少）



回収CFの長さ：半数以上がバージンCFの長さの80%以上を維持

CFRP積層体ブロックへの電気パルス印加高速度ビデオカメラによる可視化

撮影間隔1 μs , $C=0.8 \mu\text{F}$, $V_c=30 \text{ kV}$



電極を接触させた90°層へ通電し、炭素繊維でジュール発熱が発生することで樹脂が温度上昇し、気化・膨張したことで層間剥離が発生したと考えられる

Tokoro, C., Sato, K., Inutsuka, M., Koita, T., "Efficient recovery of carbon fibers from carbon fiber-reinforced polymers using direct discharge electrical pulses", Scientific Reports, 14, 29762 (2024) .

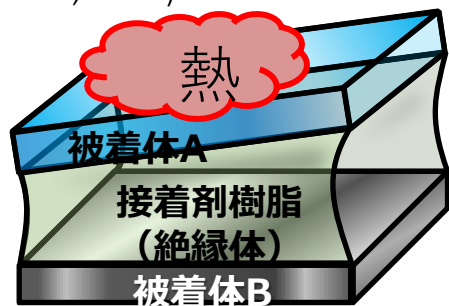
Sato, K., Koita, T., Inutsuka, M., Yamaguchi, K., Kimura, M., Tokoro, C., "Disassembly of laminated CFRP using direct pulsed discharge", Composites Part B: Engineering, 297, 112301 (2025)

電気パルス刺激を想定した易分解接着剤開発

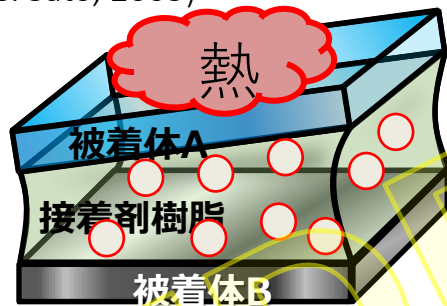
□易分解接着剤に関する先行研究

・熱を外部刺激として利用

熱溶融エポキシの研究
(Petrie, 2010)

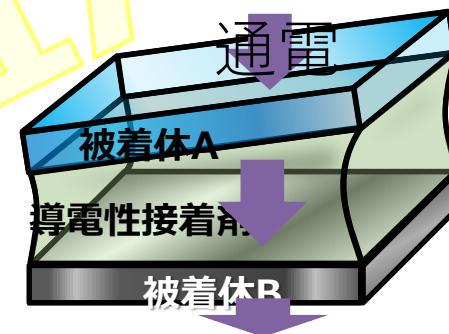


熱膨張マイクロカプセル添加
(C. Sato, 2005)



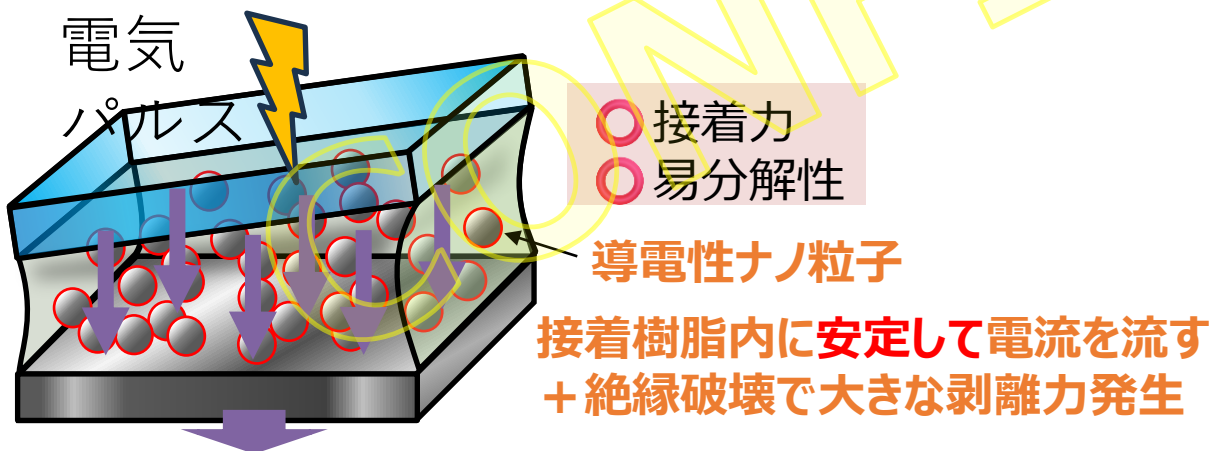
・電気を外刺激として利用

通電剥離性接着剤の研究
(Gilbert, M.D., 2001)



比較的弱い接着 (10 MPa以下) のみ

□電気パルス刺激を想定した易解体接着剤開発



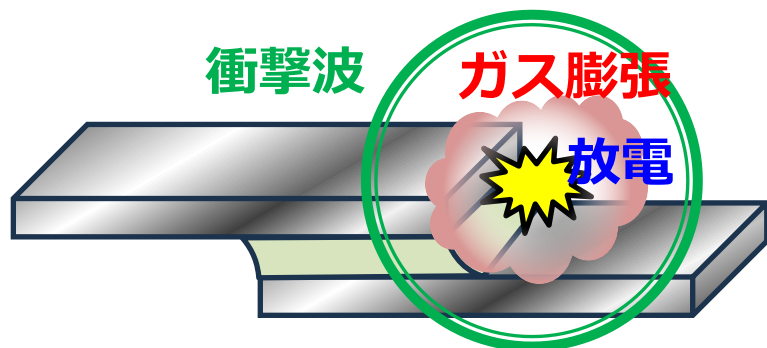
→高接着性と易分解性の両立の実現

- ・構造用接着剤に資する高接着性
- ・機械的刺激・熱的刺激・薬剤添加に比べて省エネルギー・低環境負荷・高操作性の分離技術確立

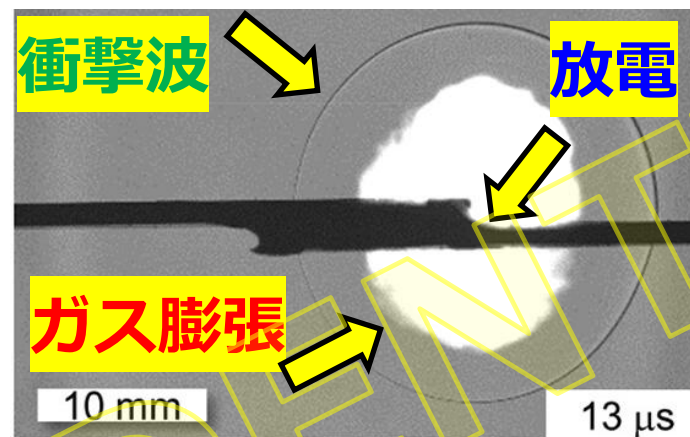
構造接着(30 MPa以上)でも剥離可能, 接着強さは損なわない→資源循環に資する易解体技術

電気パルス刺激を想定した易分解設計

絶縁耐力
エポキシ樹脂 ($\sim 60 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$) > 空気 ($3 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$)



空気中での放電



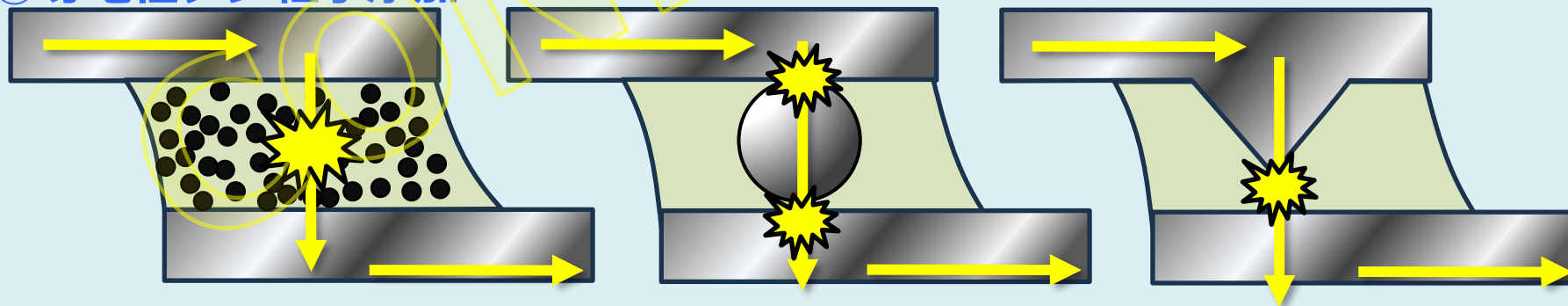
接着面内で放電しなければ剥離しない

材料設計指針：接着面内部に放電を誘導するパス構造

① 導電性ナノ粒子添加

② 金属球の導入

③ ノッチ構造


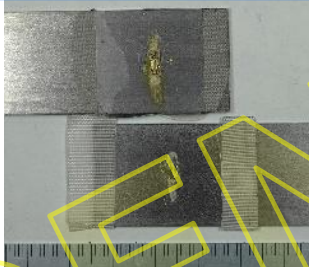
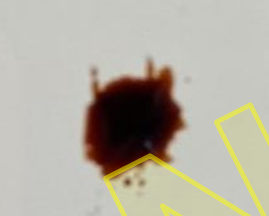
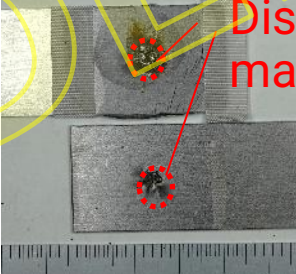

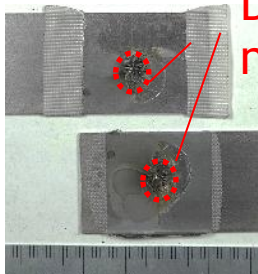


M.Inutsuka, C.Tokoro et al.
“Electrical properties of adhesives designed for smart debonding by a pulsed discharge method”
The Journal of Adhesion. 2023, Vol.99, Issue 13.

M.Kondo, C.Tokoro et al.
“Study of the Metal Sphere Explosion Driven by Pulsed Discharge for Separating Adherends”
IEEE Transactions on Plasma Science. 2022, Vol.50, No.11, 4649.

T.Koita, C.Tokoro et al.
“Application of simple notch to selective separation of adherend bonded with resin adhesive by pulsed discharge in air”
IEEE Transactions on Plasma Science. 2021, Vol.49, No.12, pp.3860-3872.

接着強度を維持し電気パルス易解体な粒子濃度制御へ

Ag nanoparticle concentration	Dispersion / aggregation of particles	Electrical pulse test results	Photo after tensile shear test after electric pulse
0.1 vol%	Dispersion 	All end discharge, 5 pieces	 Discharge occurs at the end of the adhesive.
0.5 vol%	Aggregation 	2 pieces : Internal Discharge 3 pieces : end discharge	 Discharge marks Discharge occurs in the adhesive containing Ag nanoparticles.
1.0 vol%	Aggregation 	5 pieces : Internal Discharge 1 piece : end discharge	 Discharge marks

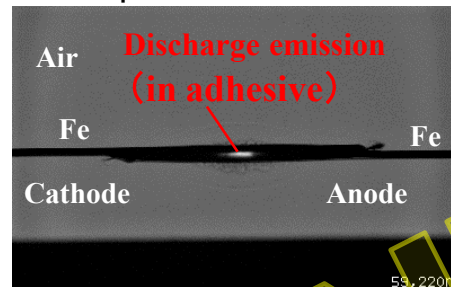
安定した内部放電には至らない

安定した内部放電
→安定した剥離へ

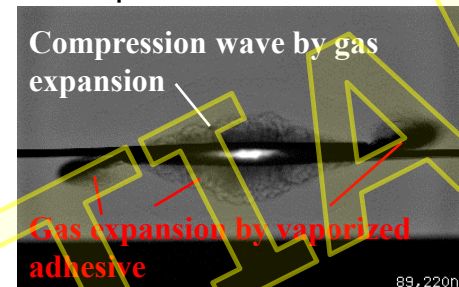
安定して内部放電すれば構造接着体も安定して剥離



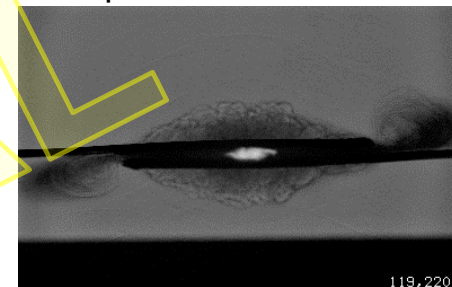
59.2 μ s



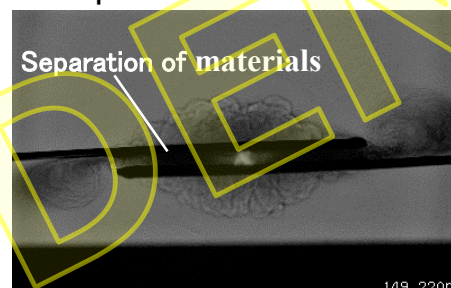
89.2 μ s



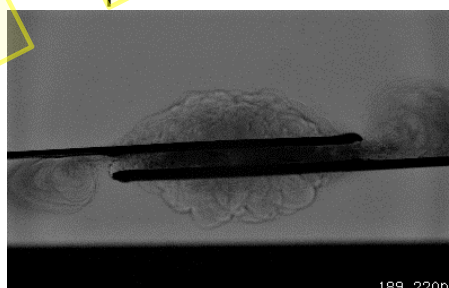
119 μ s



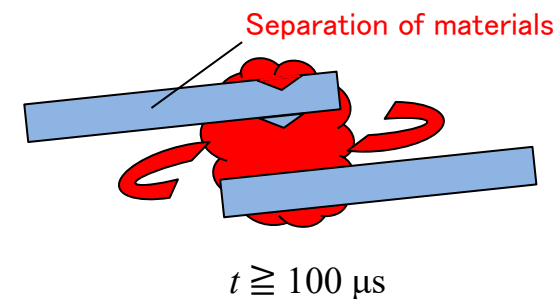
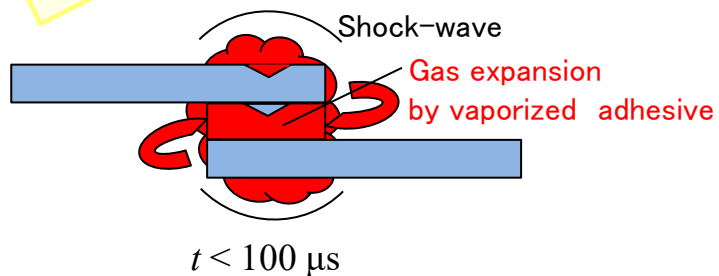
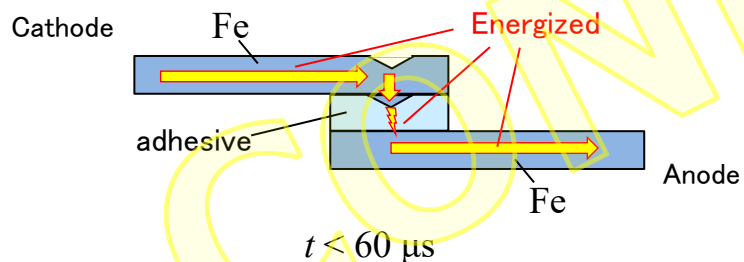
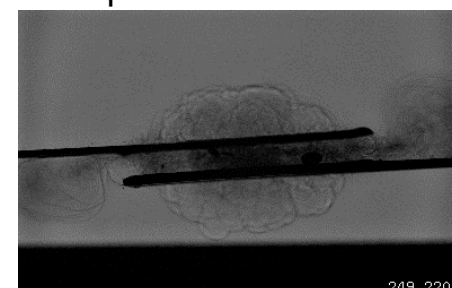
149 μ s



189 μ s



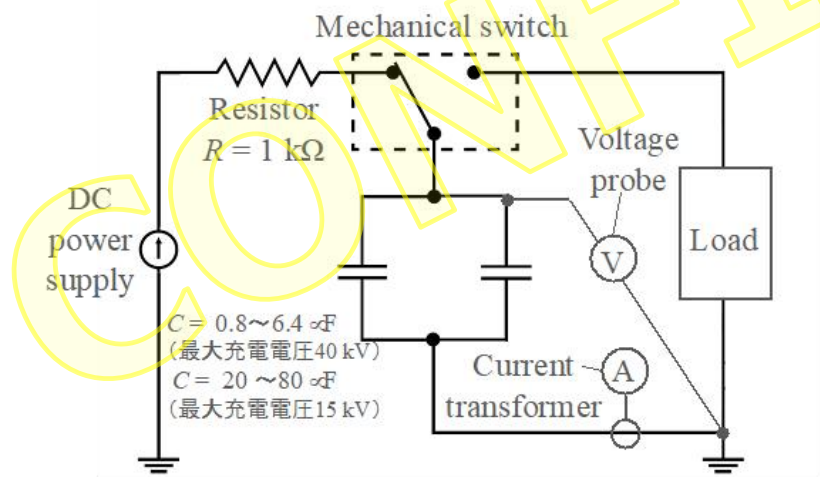
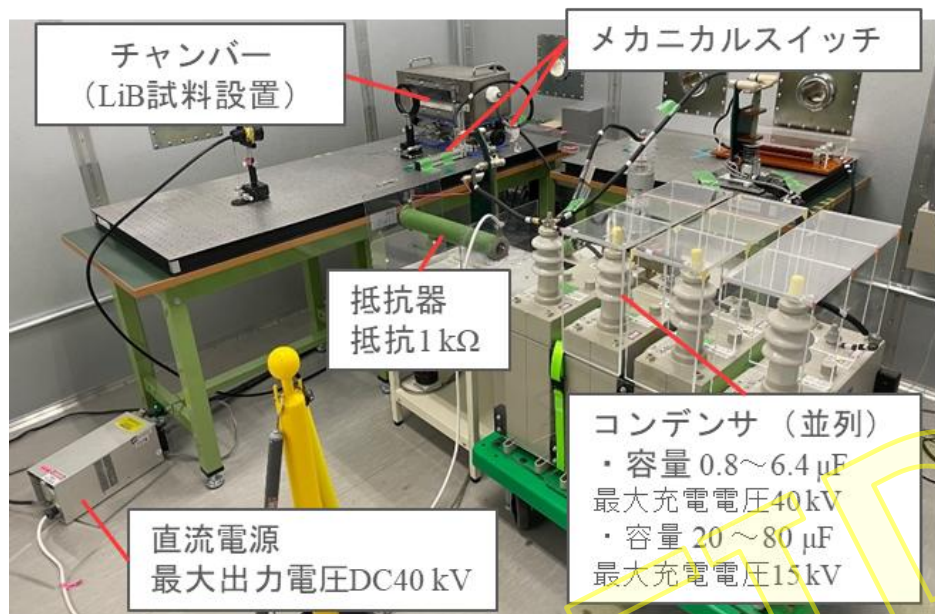
249 μ s



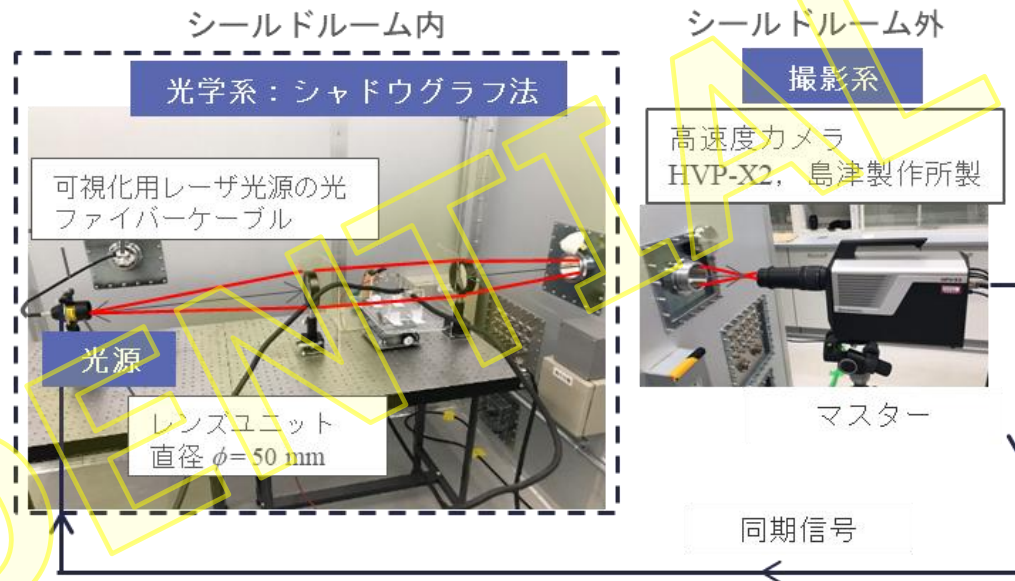
- Vaporization of adhesive by Joule heating

新規電気パルス法の技術開発

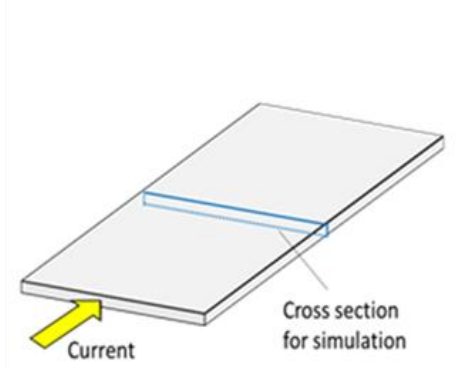
電気パルス装置の外観・回路図



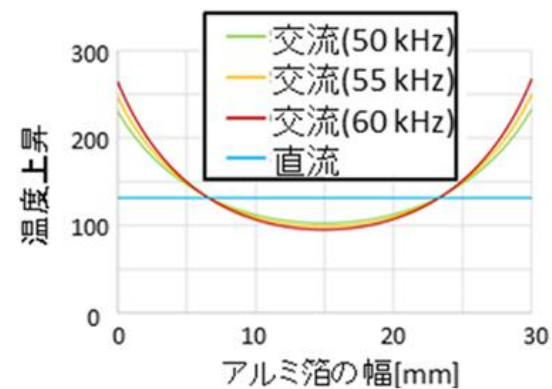
光学的可視化手法



電磁界シミュレーションによる評価



シミュレーションモデル



アルミ箔の温度変化

車載用リチウムイオン電池の解体



- ✓ 現状は手解体が主であるが、今後の廃棄量の増加や、安全性を考えると、自動解体技術が開発されることが強く望まれる。
- ✓ ネジはほとんどが金属部に装着されており、現状ではネジ外しロボットによる自動化が妥当。現状では、1種類のドライバーで外すことができるが、5方向かつ多層になっており、さらなる易解体設計が望まれる。

解体手順	時間
①ネジ外し	2分40秒
②スナップフィット外し	30秒
③ワイヤーハーネス切り	1分10秒
④姿勢制御	2分40秒
⑤絶縁処理	1分20秒
⑥部品外し後、箱への投げ入れ	2分50秒
⑦その他部品外し（制御盤/コンタクタ等）	50秒
合計	約12分 ※熟練作業者

電磁誘導加熱（IH）による選択的分離

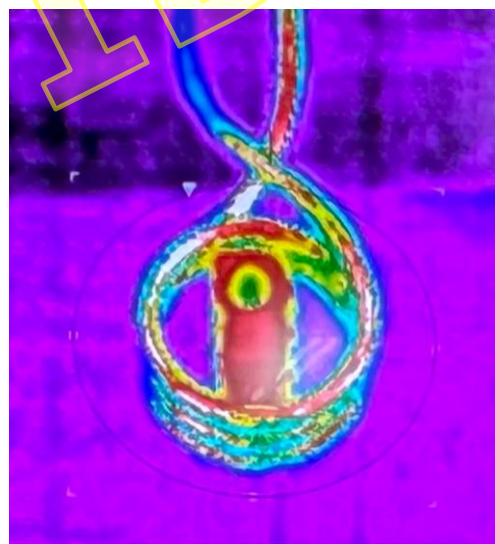
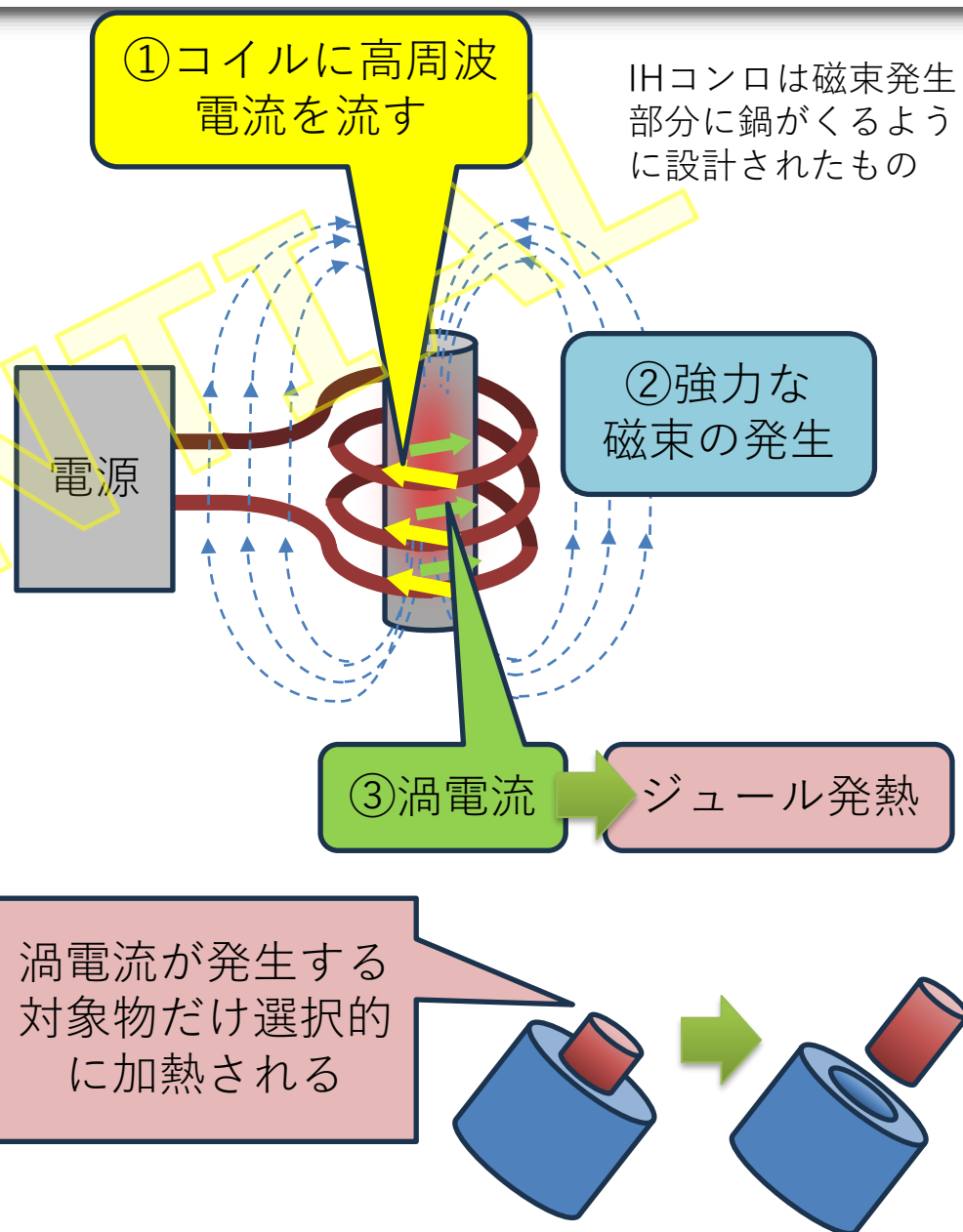
電磁誘導加熱による非接触での局所加熱

金属部分を局所的に加熱

- ⇒ 分離が困難な金属－樹脂界面の剥離に有効
- ⇒ 不要な加熱をしないことで消費エネルギーを削減
- ⇒ 放射・熱伝導より迅速な加熱

非接触加熱が可能

- ⇒ 複雑な形状にも対応可能
- ⇒ 無人化や自動化へ向けた設計が容易





公開資料

<https://www.denso.com/jp/ja/news/newsroom/2024/20240409-02/>

自動車リサイクルにおける再生材利用拡大を目指し、
自動車部品解体プロセス等の技術実証を開始

～自動車産業におけるサーキュラーエコノミー実現に貢献～

主な役割	担当企業、研究機関
自動車・自動車部品の解体、解体データの取得	リバー（共同代表）、金城産業、九州メタル産業、マテック
自動車部品解体システムの開発	デンソー（申請法人・共同代表）
解体で抽出した素材の高純度化	早稲田大学 所千晴研究室
自動車部品向けに品質を適合させるための再資源化プロセスの開発、再生材の評価	DIC、UACJ、住友化学、大同特殊鋼、東レ、古河電工、三井化学など
再生材を用いた自動車部品評価	豊田合成、トヨタ紡織
プロジェクトマネジメント、二酸化炭素排出量削減効果の評価支援	野村総合研究所

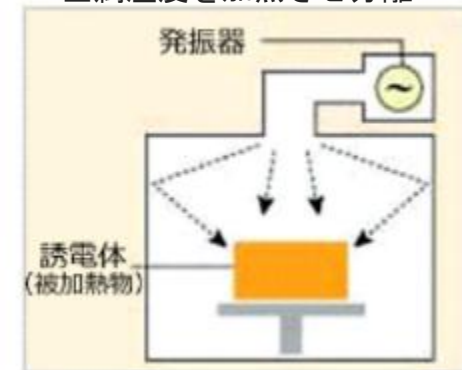
外部刺激により樹脂にモールドされた金属の分離の検討

樹脂・金属インサート成形



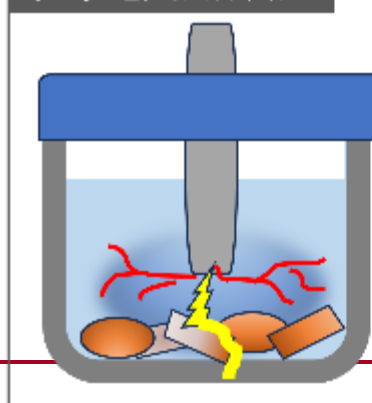
＜マイクロ波加熱＞

金属の分子を振動させ摩擦熱で金属温度を加熱させ分離



＜電気パルス集合粉砕＞

従来電気パルス法



90年代より活発に研究
EUでは市販装置化
水中で電気パルスを連発

水中放電

⇒絶縁破壊の際に生じる衝撃波を活用
⇒岩石や小型家電などを対象とした破碎・粉砕

ランダムな放電経路
数百回の放電を前提

BlueRebirthでは、新車の製造から回収、再生原料や材料の製造、そしてクルマに再び資源を活用する流れを設計しています。材料メーカー、完成車メーカー、部品メーカー、再生原料製造メーカーが密に連携することで、動静脈が融合したバリューチェーンによるCar to Carサイクルを目指します。

BlueRebirth <https://www.blurebirth.jp/about/>



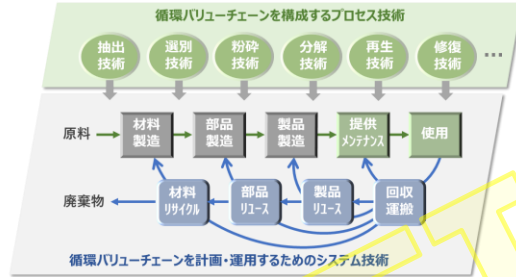
※図の数値は2020年時点のものです。

【参考】「成長志向型の資源自律経済戦略」2023(経済産業省)



持続可能な社会の実現に向け、
Well-beingの向上と資源消費・環境負荷低減を両立させる、
資源循環技術の研究・開発と社会実装のための活動を
産官学協力して行う場の創出を目指しています。

プロセス技術とシステム技術の
両面での取り組み、
循環バリューチェーンの構築、
運用を目指します。



活動事例

会員限定セミナー

- ◆ 業界を超えた会員間の課題共有
- ◆ 事例・最新動向共有
- ◆ チュートリアルセミナー
- ◆ 課題解決に向けた議論
- ◆ ネットワーキング交流会
- ◆ 学生ポスターセッション

会員企業施設見学

公開シンポジウム

- ◆ 産官学 最新動向共有
- ◆ ネットワーキング交流会



発起人／アドバイザー

(五十音順)

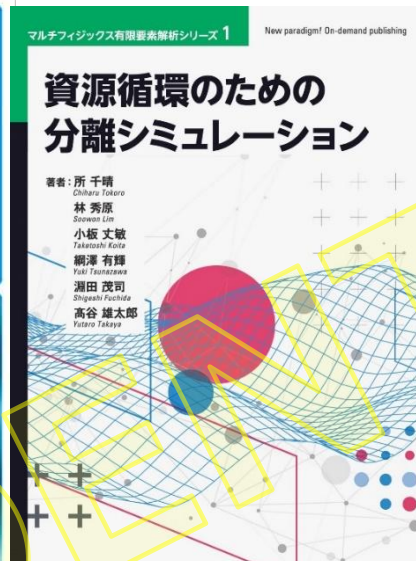
それぞれの技術に造詣の深いアドバイザーの協力を得ながら、事業者間の交流を推進します。

 会長 所千晴 早稲田大学 教授	 天沢逸里 早稲田大学 准教授	 犬束学 早稲田大学 准教授	 伊坪徳宏 早稲田大学 教授	 梅田靖 東京大学大学院 教授	 小野田弘士 早稲田大学 教授	 加茂徹 早稲田大学 研究院教授	 神谷秀博 東京農工大学 名誉教授 早稲田大学 研究院教授
 菊池康紀 東京大学 准教授	 小林英樹 大阪大学大学院 教授	 高田祥三 早稲田大学 名誉教授	 中村昌弘 レクサー・リサーチ 代表取締役	 福重真一 早稲田大学 教授	 松本光崇 産業技術総合研究所 研究部門長	 森本英香 早稲田大学 教授	 山口勉功 早稲田大学 教授

正会員・賛助会員

企業：61 団体：9 2025年11月現在 順不同

参考図書 - 著書紹介 (所千晴) -



粉体精製と湿式処理 -基礎と応用
- 2012/11/1

初心者のためのPHREEQCによる反応解析入門
- 2016/3/25

バリューチェーンと単位操作から見たリサイクル (最近の化学工学69)
- 2021/1/8

資源循環のための分離シミュレーション
- 2022/8/5

資源循環論から考えるSDGs
- 2022/11

循環バリューチェーンで拓くサステナブル社会
- 2026/06予定!

“循環バリューチェーンで拓くサステナブル社会”
所千晴他監修，CVCコンソーシアム著，2026年春刊行。
60を超える産官学の取り組み例をコラムとして紹介。

循環バリューチェーンコンソーシアムでの産学官連携活動から見えてきたCEへの課題

Circular Value Chain Consortium

循環バリューチェーンコンソーシアム

早稲田大学
循環バリューチェーンコンソーシアム
2022年7月発足
CE実現に課題感を有する16アドバイザー、61企業、9団体にて、
CEに関するセミナー・シンポジウム・勉強会・ネットワーキングを毎月開催

<https://cvc.smartcore.jp/>



循環バリューチェーン で拓く サステナブル社会

著
早稲田大学オープンイノベーション戦略研究機構
循環バリューチェーンコンソーシアム

編
所 千晴
福重 真一
高田 祥三
田所 秀之

近代科学社 Digital

日本におけるCEの課題

- ・設計段階の未対応
- ・再生プロセスのミスマッチ
- ・情報・制度の非接続
- ・市場・経済性の不成立

ほぼすべての企業が言及

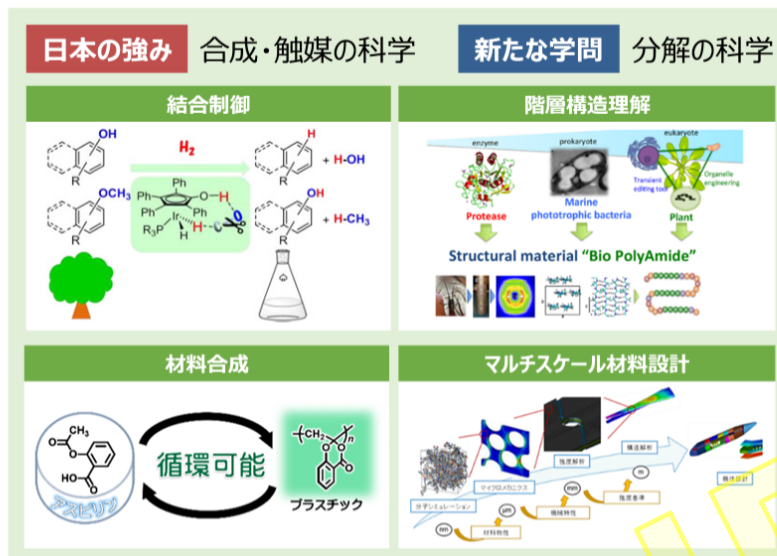
- ・コストが合わない
- ・回収量・供給の不安定
- ・品質のばらつき
- ・既存サプライチェーンとの不整合

実装段階の企業が言及

- ・規制・制度の制約
- ・トレーサビリティ不足
- ・解体・分離の難しさ
- ・再生材の市場評価が低い
- ・社会受容性（価格許容）
- ・人材不足
- ・データ共有の困難

2026年6月発刊予定（60を超える事例をコラムとして紹介）

資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御



戦略目標に基づく
研究領域
H24~R1
「分子技術」
H25~R2
「超空間」
H27~R4
「革新的触媒」
H30~R7
「革新的反応」

新学術領域
H27~R1
「精密制御反応場」
H30~R4
「ミルフィーユ構造材料」

結合・分解制御

- 結合活性化・結合制御・階層構造制御技術を開発し、寿命を制御したサステナブル材料を設計
- 高分子材料・無機材料・複合材料におけるリサイクル技術確立し資源循環へ
- 分子レベルからマクロな階層構造まで、チーム研究の推進で日本が本分野を牽引

想定される研究

- ・ 安定結合を活性化し、選択的に結合切断できる触媒反応の開発
- ・ 外部刺激等により結合形成・開裂を自在に制御する技術
- ・ 分解性セグメントを導入した材料の設計・合成・分解挙動評価
- ・ 必要なタイミングで必要なレベルまで分解できる材料の開発
- ・ 無機フィラーと樹脂からなる複合材料の分解を可能にする界面設計
- ・ マルチスケールな「分解の科学」の学理構築と機能材料創製

CREST

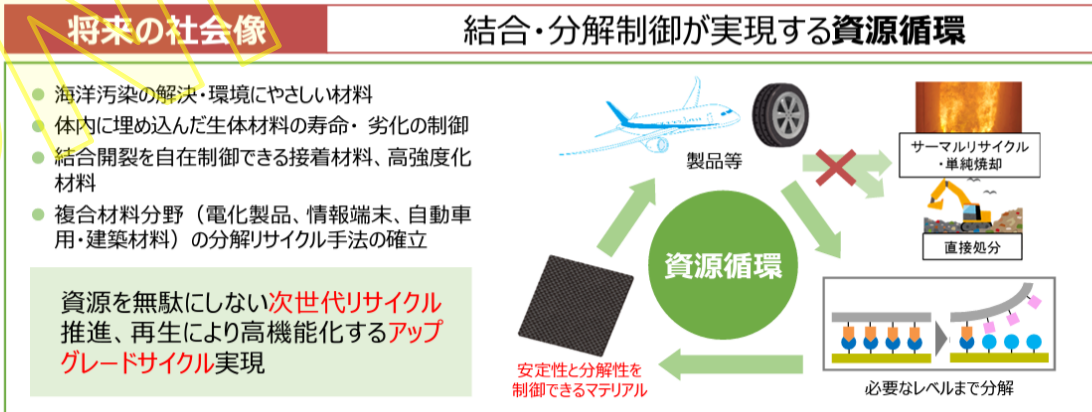
[分解と安定化]分解・劣化・安定化の精密材料科学

さきがけ

[サステナブル材料]持続可能な材料設計に向けた確実な結合とやさしい分解

なぜ今「結合・分解制御」か？

- 海洋プラスチック問題等が注目されることで、材料の使い捨てから再利用へのシフトに関心が高まっており、資源循環のために原料などへ分解できる材料の開発が望まれている
- プラスチックに限らず安定性と分解性を制御できるサステナブル材料の設計・開発が望まれている
- 「分解の科学」の体系的理解とサステナブル材料の開発に取り組む機運が熟しつつある



https://www.mext.go.jp/content/20210312-mxt_kiso-000013144_2.pdf

2024年度文科省戦略目標「選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～」

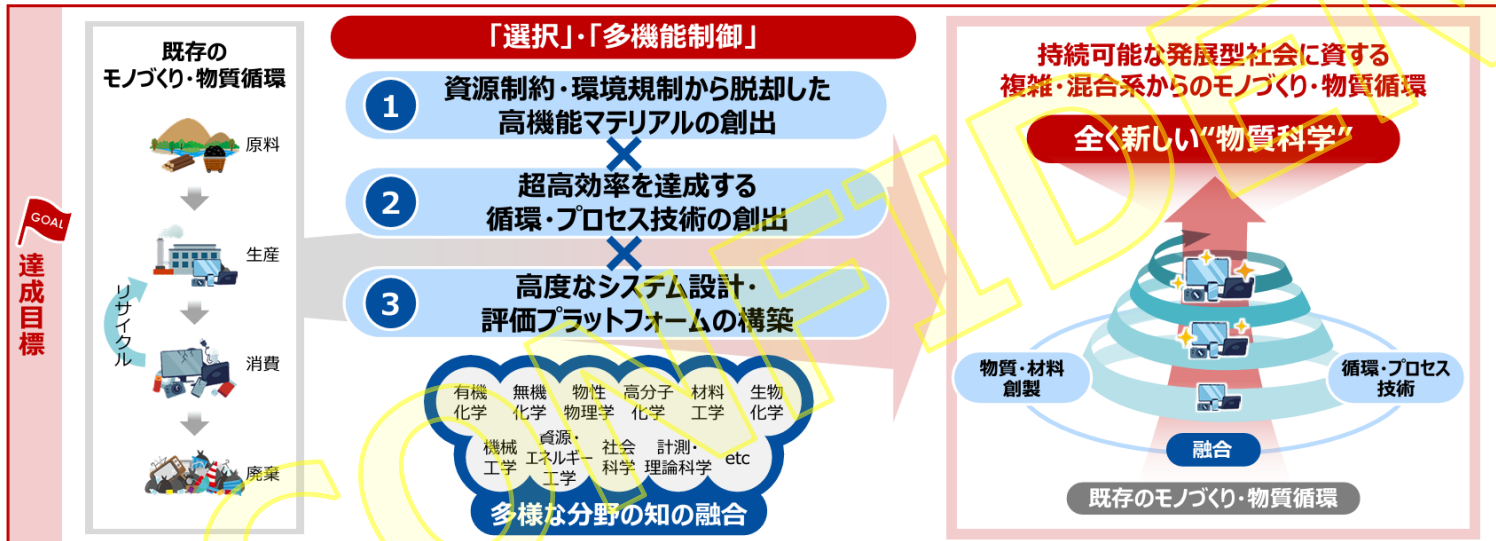
社会課題解決に資する挑戦的な技術開拓

4 選択の物質科学～持続可能な発展型社会に貢献する新学理の構築～

趣旨

- 資源の枯渇・調達リスク増大、環境規制の強化など、多くの社会課題が顕在化している。
- 多様かつ複雑化する社会課題に対応しつつ発展・成長する社会（持続可能な発展型社会）の実現に向けて、**既存のモノづくり・物質循環の先入観に捉われない、新しい科学的発見によるパラダイムシフト**が必要とされている。
- **物質・材料創製と循環・プロセス技術を融合**する全く新しい物質科学の探求により、**リソーシングやアップグレードを実現する“新しい学理”**を生み出す。

「選択」：物質循環の中で最適な物質・材料の選択。物質・材料を高度に利用し循環させるための選択的な生成・分離・回収・変換などの精緻なメカニズム解明や革新的技術の確立。
 「多機能制御」：多種多様な物質・材料から構成される製品などに対して、一つの要素だけではなく多数の異なる要素を理解し、それらの要素をコントロール。



- 将来像
- 我が国の物質循環システムの強靱化・自律化
 - 我が国の強みである最先端材料産業の更なる活性化と中長期的な競争力強化

CREST

材料創製および循環プロセスの革新的融合基盤技術の創出とその学理構築[材料創製と循環]

さきがけ

材料の創製および循環に関する基礎学理の構築と基盤技術の開発[材料の創製・循環]

https://www.mext.go.jp/content/20240315-mxt_chousei01-000034470_06.pdf

4. 委員会等

- ・ [静脈産業の脱炭素型資源循環システム構築に係る小委員会](#)
- ・ [再資源化事業等の高度化に関する認定基準検討ワーキンググループ](#)

2025年4月14日
中央環境審議会循環型社会部会静脈産業の
脱炭素型資源循環システム構築に係る小委
員会（第10回）資料より

資源循環の促進のための再資源化事業等の高度化に関する法律の概要

第213回通常国会で成立
令和6年5月29日公布



過去小委員会資料から作成

- 令和6年3月15日に「資源循環の促進のための再資源化事業等の高度化に関する法律案」について閣議決定し、第213回国会で成立。
- 本法においては、**脱炭素化と再生資源の質と量の確保等の資源循環の取組を一体的に促進**するため、**基本方針の策定、特に処分量の多い産業廃棄物処分業者の再資源化の実施の状況の報告及び公表、再資源化事業等の高度化に係る認定制度の創設等の措置を講ずる。**

基本方針の策定

- ・ 再資源化事業等の高度化を促進するため、国として基本的な方向性を示し、一体的に取組を進めていく必要があることから、環境大臣は、**基本方針を策定し公表するものとする。**

再資源化の促進（底上げ）

- ・ 再資源化事業等の高度化の促進に関する判断基準の策定・公表
- ・ 特に処分量の多い産業廃棄物処分業者の再資源化の実施状況の報告・公表



再資源化の高度化に
向けた全体の底上げ

再資源化事業等の高度化の促進（引き上げ）

- ・ 再資源化事業等の高度化に係る**国が一括して認定を行う制度を創設**し、生活環境の保全に支障がないよう措置を講じさせた上で、**廃棄物処理法の廃棄物処分業の許可等の各種許可の申請の特例**を設ける。

※認定の類型（イメージ）

<①事業形態の高度化>

- 製造側が必要とする質・量の再生材を確保するため、**広域的な分別収集・再資源化の事業を促進**



例：ペットボトルの水平リサイクル
画像出典：PETボトルリサイクル年次報告書2023（PETボトルリサイクル推進協議会）

<②分離・回収技術の高度化>

- **分離・回収技術の高度化に係る施設設置を促進**



例：ガラスと金属の完全リサイクル
例：使用済み紙おむつリサイクル

画像出典：本邦光学電器設備の付加価値の創出に向けたガイドライン
使用済み紙おむつの再生利用等に関するガイドライン

<③再資源化工程の高度化>

- 温室効果ガス削減効果を高めるための**高効率な設備導入等を促進**



例：AIを活用した高効率資源循環

画像出典：産業廃棄物処理におけるAI-IoT等の導入事例集

脱炭素化の推進、産業競争力の強化、地方創生、経済安全保障への貢献

https://www.env.go.jp/recycle/waste/page_01721.html

バッテリー先進人材普及ネットワーク(BATON)発足

バッテリー先進人材普及ネットワーク (BATON) 発足発表会の様子



バッテリー先進人材普及ネットワーク (BATON) の設立 ~蓄電池国内製造能力150GWhに必要な電池人材の育成・確保~

次世代のバッテリー人材の育成・確保のため、これまで産官学が連携し、高校・高専を対象とした「関西蓄電池人材育成等コンソーシアム」が進められてきましたが、この取組を全国に広げるとともに、対象を大学まで広げ、バッテリー人材の育成・確保を加速すべく、「バッテリー先進人材普及ネットワーク“Battery Advanced Talent Outreach Network、以降、BATON(バトン) ※1」を設立することとしました。

経済産業省が2022年8月に策定した蓄電池産業戦略は、2030年までに国内の電池・材料の製造基盤を150GWhとする官民目標を掲げ、同目標の実現には、約3万人の電池人材の育成・確保が必要と見込まれており、人材は当戦略の柱の1つとなります。

※1 BATON (バトン) には「次世代につなぐ」という意味も込められています。

<https://www.baj.or.jp/about/s5bh8o0000001dm3.html>

SIP課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」

関係府省：文科省、経産省、環境省、デジタル庁

サブ課題 A

循環市場の可視化・ビジネス拡大を支えるデジタル化・共通化

循環市場における情報の可視化を可能にする**日本版DPPの構築**及びDPPで**流通すべき情報に関するルール整備**を行い、**素材・製造・流通・消費・分別・リサイクルの資源循環をデジタル情報でつなげる**ことで、**再生材料の利用を促進する**仕組みを導入する。

A1

循環市場拡大に資するデジタル基盤構築（日本版DPPのシステム構築）

A2

必須要件
デジタル基盤構築に必要な情報ルールの整理・共通化（日本版DPPで流通すべき情報の規格の制定）

環境性・循環性の評価

A3

自然資本評価ツールの開発・可視化（自然資本リスク・環境評価手法の開発及び日本版DPPとの連携）

サブ課題 B

資源循環の拡大を促す動静脈・静動脈連携

高品質な再生材の低コスト・安定的な供給を行うため、使用済プラスチックや、自治体との協力による**回収プラスチックの分別・供給システムを開発**する。
また、現時点では再資源化が困難であるものの、潜在的な再資源化ポテンシャルの高い**繊維、衣類、建築資材由来の再生プラスチックの供給増**を進めるための**動静脈・静動脈連携モデルを構築**する。

データ

要件

B1

使用済プラスチックから高品位の再生材を選別・供給するシステムの開発（高度選別と再生材のデータ化・可視化）

品質向上・データ

B2

自治体協力回収プラスチックの分別・供給システムの確立（自治体協力回収を通じた高品位再生資源の供給増）

サブ課題 C

循環性向上と可視化のためのプラットフォーム整備

日本の**最先端技術の活用**により、**循環性の向上・可視化のための環境試験・診断・高性能トレーサー（分子トレーサー、DNAトレーサー）の開発**を行うプラットフォームを構築し、世界に先駆け**アップサイクルを可能とする**。また、産学官が連携して、**再生材料の保証・認定に繋がるデータの仕様、利活用法等**について検討する。

C1

循環性向上
品質・安全性の検証
循環性向上と可視化のためのプラットフォーム整備（環境試験・診断・トレーサー開発）

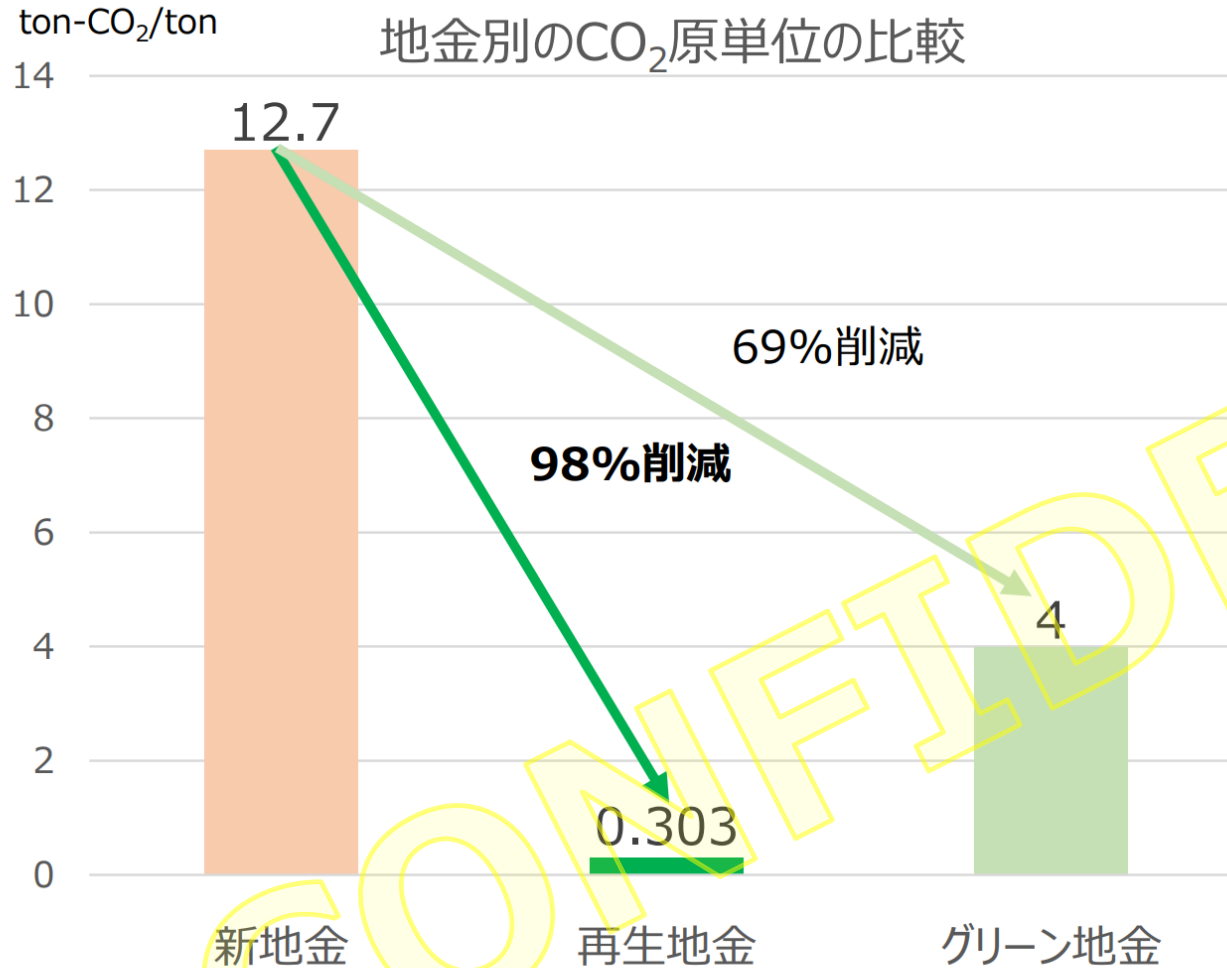
※所要の予算措置が講じられ次第、C1の一環として、循環性向上による再生材製品のMVP（実用最小限の試作製品）の開発も実施

日本版DPPの情報活用

循環性の可視化・データ連携促進

<https://www.erca.go.jp/erca/sip/ce.html>

CPsの取り組み 精緻解体・分離がもたらすCEとCNの両立：アルミニウムを例に



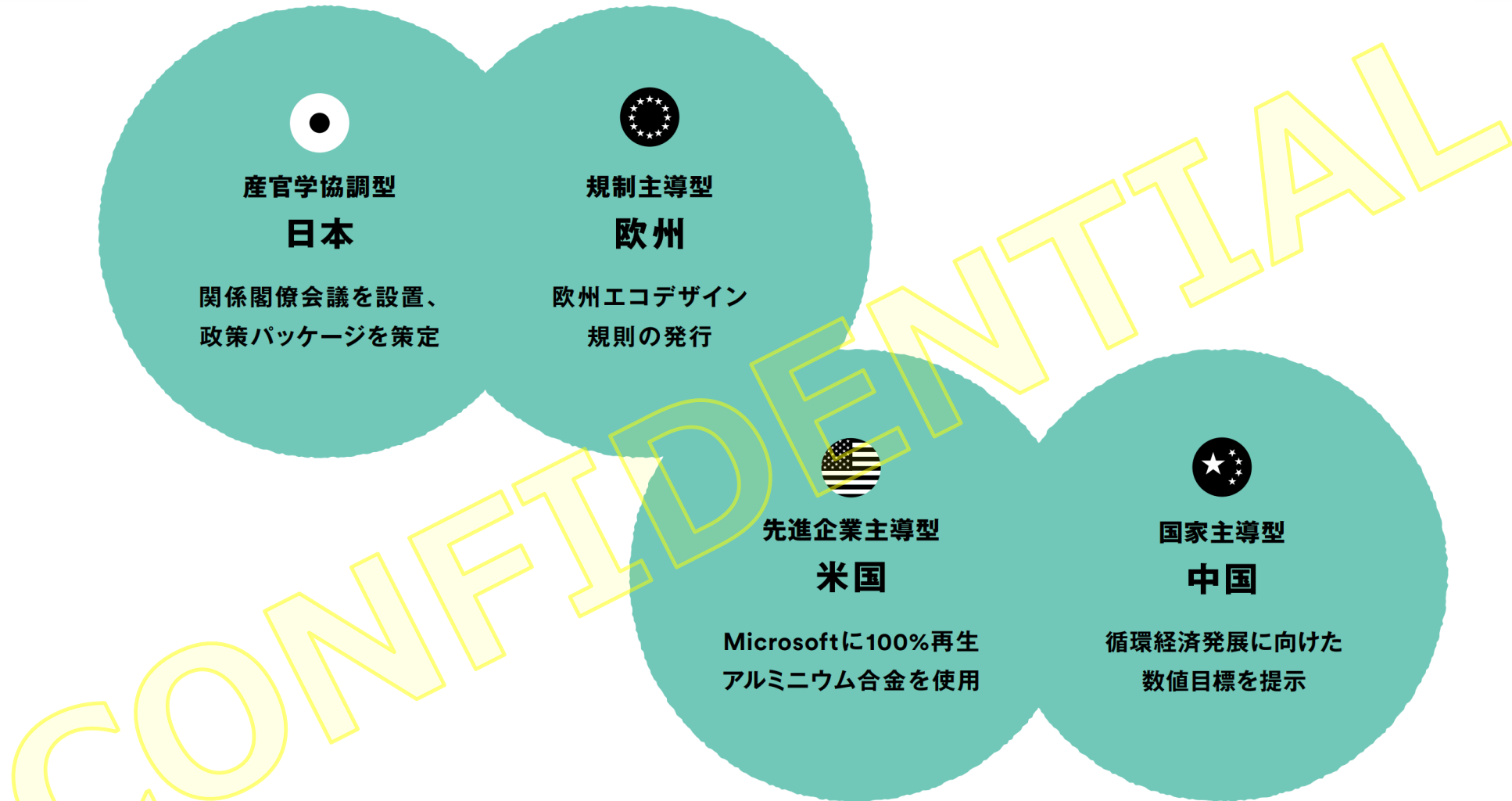
「再生地金」を得るためには、アルミニウム展伸材をさらに添加物の違い（系の違い）ごとに精緻に解体して分離する必要がある。
→仕組みと技術が必要

	入っているもの	主な用途
1000系	純アルミ系	家庭用品
2000系	Al-Cu系	航空機
3000系	Al-Mn系	アルミ缶ボディ
4000系	Al-Si系	ピストン 耐熱
5000系	Al-Mg系	装飾 化学プラント
6000系	Al-Mg-Si系	押出し材 サッシ 車体
7000系	Al-Zn-Mg系	航空機 鉄道

- ※グリーン地金：CO₂排出量 4 ton以下とした場合の参考例
- ・新地金の原単位: 各国電源構成を考慮した我が国の輸入新地金の平均値
 - ・再生地金の原単位: 展伸材用スクラップ溶解のみ
 - ・グリーン地金の原単位: 再生可能エネルギーで製造された新地金の通称

日本アルミニウム協会2025年度CPs領域別WG検討結果報告
https://www.aluminum.or.jp/global_warming/cps/

産学官協調型でCEを進める日本



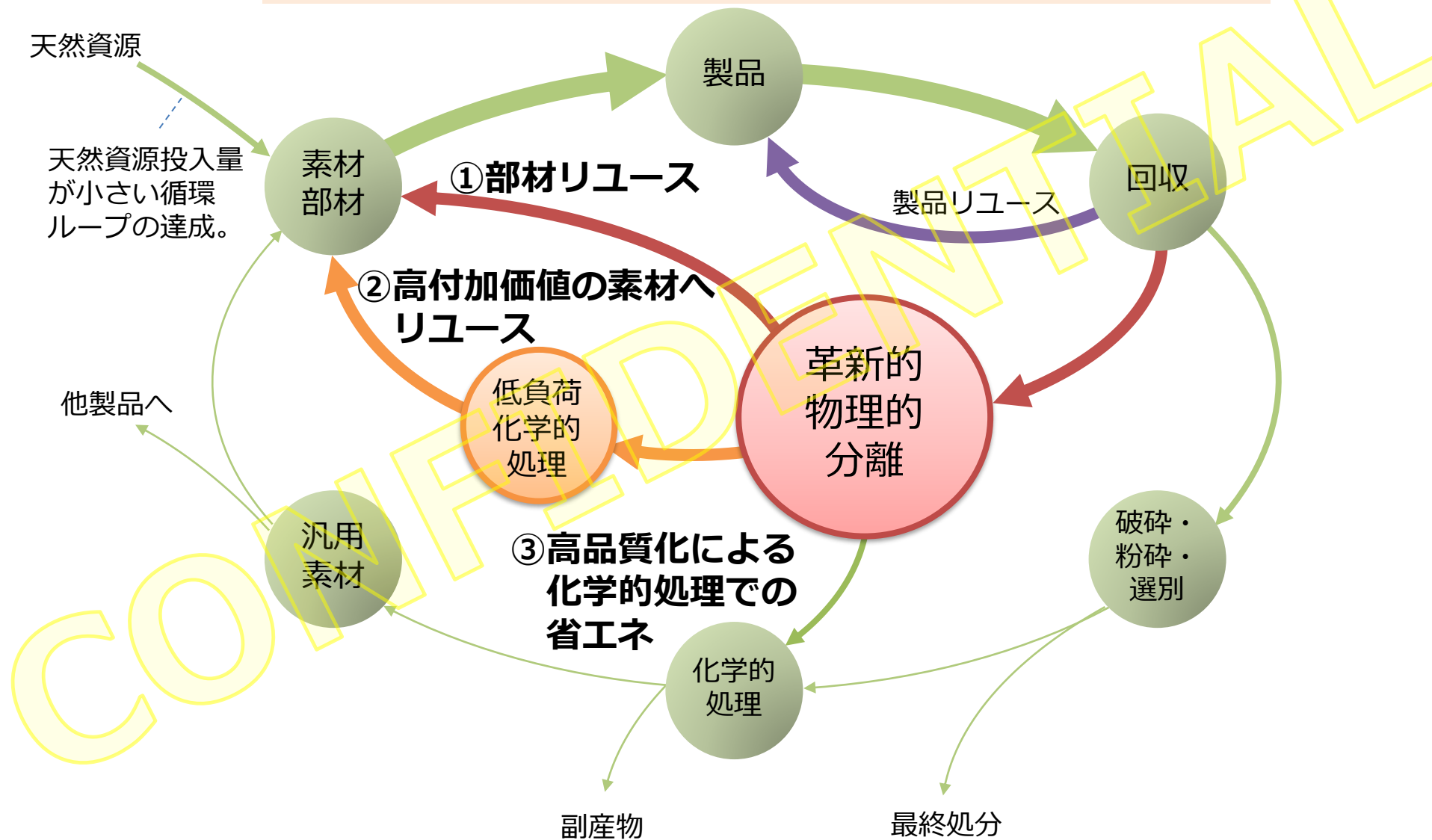
日立-産総研サーキュラーエコノミー連携研究ラボ 活動報告書 (2024)

<https://unit.aist.go.jp/hitachi-cecrl/news/2025/pdf/250801.pdf>

まとめ

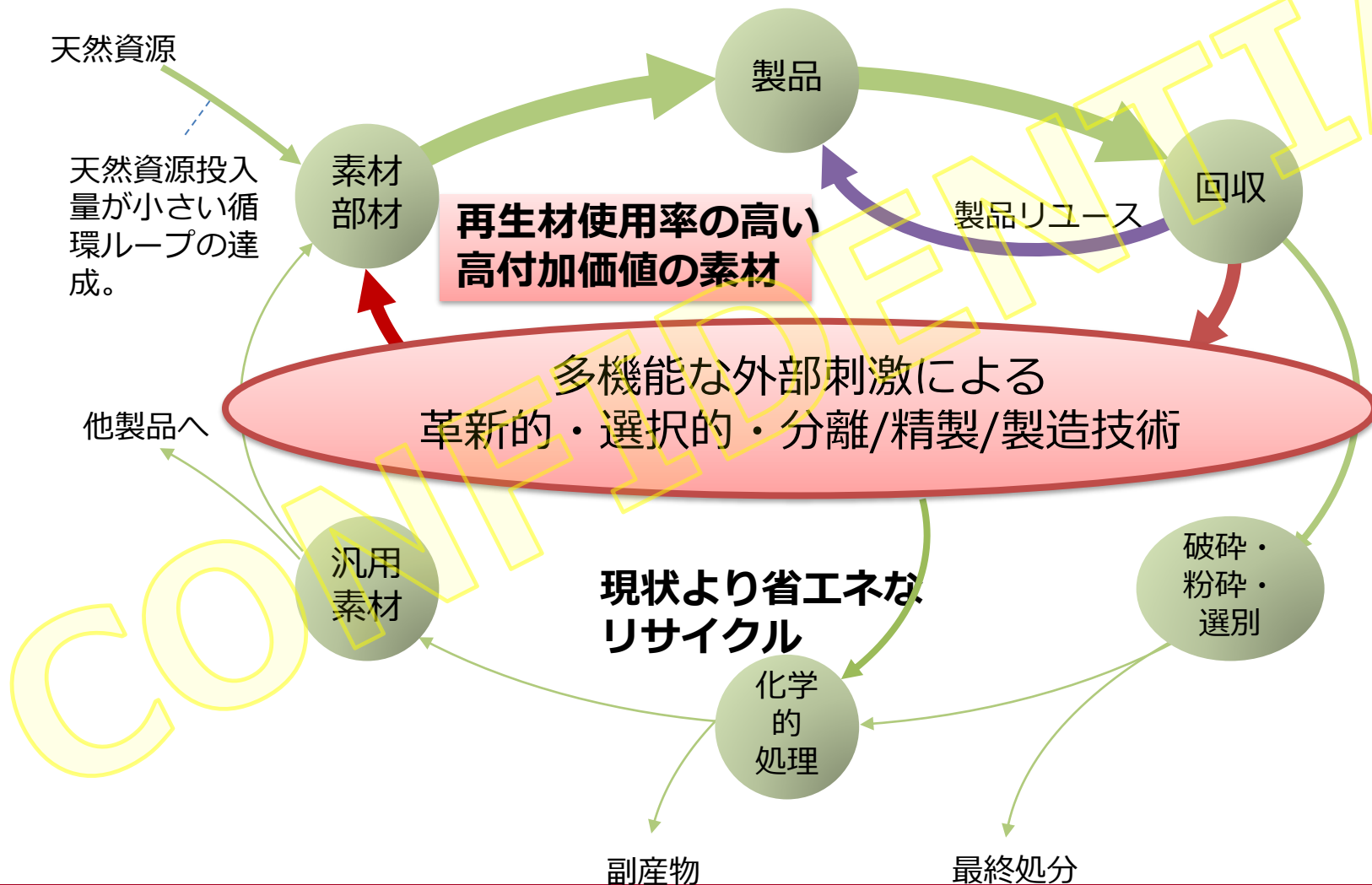
- 持続可能な社会実現に向けて、カーボンニュートラル、サーキュラーエコノミー、ネイチャーポジティブは統合的に捉える必要があるが、ものづくり企業にとってはサーキュラーエコノミーが包括的な枠組みとして機能する。
- 再生材はEUによる戦略的規制化により戦略資源化しており、資源安全保障上の重要性が増している。
- 日本のものづくりを支える再生材供給には、回収、解体、分離、精製の高度化とデジタル化を含むシステム統合が重要であり、特に精緻解体と選択的分離技術の確立が内側の資源循環ループ創成に不可欠である。
- サーキュラーエコノミー推進の課題は、動静脈分断、リサイクル偏重、指標不在に集約され、産学官連携の下で制度、情報、市場、人材を含めた統合的実装が求められる。

太く短い多重ループによる循環生産システムの構築



当研究室が目指す資源循環型社会：将来展望

選択性を有するワンプロセス分離・精製・製造技術，多機能な外部刺激による
経済性を有する資源循環技術の新規開発



所 千晴

早稲田大学理工学部卒業。

東京大学大学院工学系研究科にて博士（工学）を取得。

専門は資源循環工学・化学工学・粉体工学。

早稲田大学理工学術院 助手、専任講師、准教授を経て2015年より教授。

早稲田大学では創造理工学部教務主任、理工学術院長補佐、ダイバーシティ推進室長を歴任。

カーボンニュートラル社会研究教育センター副所長、高等研究所副所長を歴任。

2024年9月より創造理工学部長・研究科長。

クロスアポイントメントにて東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授、
東京大学生産技術研究所特任教授を兼任。

JX金属株式会社社外取締役・株式会社テクセンドフォトマスク社外取締役を兼任。

日本学術会議第24期・第25期会員、第26期連携会員。

経産省、環境省、文科省、国交省、人事院、東京都、JST、NEDO、JOGMEC等の各種委員を歴任。

化学工学会、粉体工学会、資源・素材学会、環境資源工学会、エコデザイン推進機構、
資源環境センター、近藤記念財団等理事を歴任。

現在、JST・CREST，東京都事業，NEDO先導事業等の研究代表者、20を超える企業との
共同研究実施中。

循環バリューチェーンコンソーシアム会長。



TOKORO LABS[®]

RESEARCHERS

- TOP
- 研究内容
- 研究業績
- メンバー
- 進路
- インターン
- インタビュー
- 講演会
- 講義資料
- 実験動画
- GR研究会関連論文集

top

Language: [Japanese](#)/[English](#)



所千晴 mail: tokoro@waseda.jp

所研究室 URL :

<http://www.tokoro.env.waseda.ac.jp/>

コンソーシアムお問い合わせ



早稲田大学循環バリューチェーンコンソーシアム事務局

〒162-0041 東京都新宿区早稲田鶴巻町513 早稲田大学121号館

Email: cvc-contact@list.waseda.jp (早稲田大学 所研究室内 藤平)

HP: <https://cvc.smartcore.jp/>