

東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門
(JX金属寄付ユニット) 主催
産学連携と人材育成に関するシンポジウム

2024年9月20日

東京大学 生産技術研究所 An棟2F コンベンションホール および Zoom Webinar+YouTube
(30分)

日本版サーキュラーエコノミーの実現を目指した 産学連携と人材育成

早稲田大学 理工学術院創造理工学部 環境資源工学科
東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻
東京大学 生産技術研究所 非鉄金属資源循環工学寄付研究部門
所 千晴

所千晴 自己紹介

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21日より創造理工学部長・研究科長。

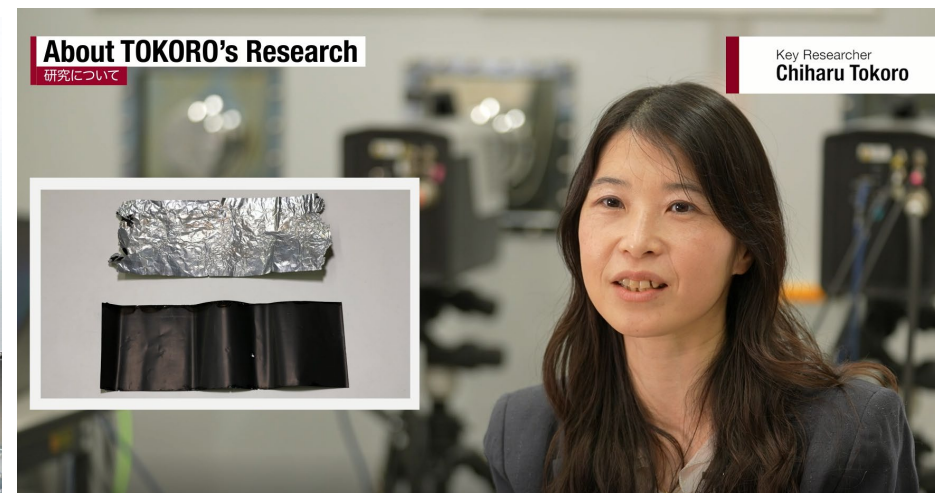
クロスアポイントメントにて東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授、
東京大学生産技術研究所特任教授を兼任。
JX金属株式会社社外取締役・株式会社トッパンフォトマスク社外取締役を兼任。

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。



自己紹介



1992年 リオデジャネイロ地球サミット

サーキュラーエコノミーに対する期待

経済成長と資源消費と環境負荷のデカップリング

K.ラワース「ドーナツ経済」河出文庫、2021年より

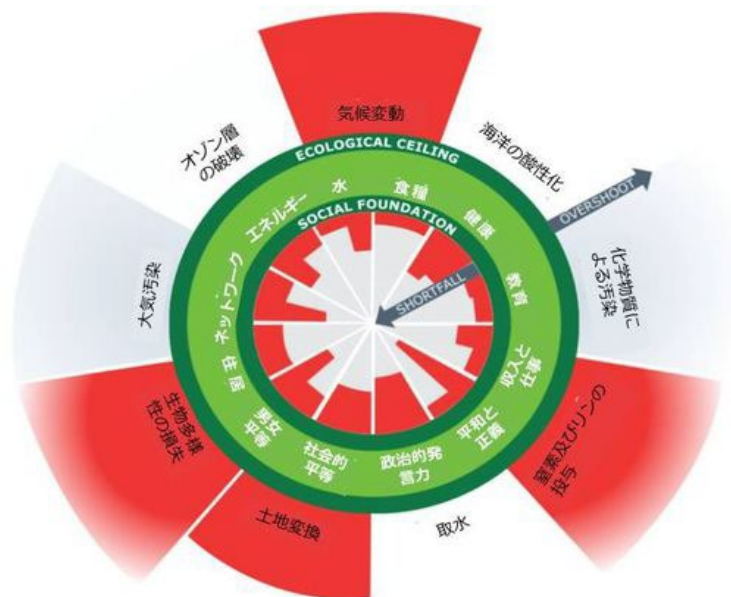
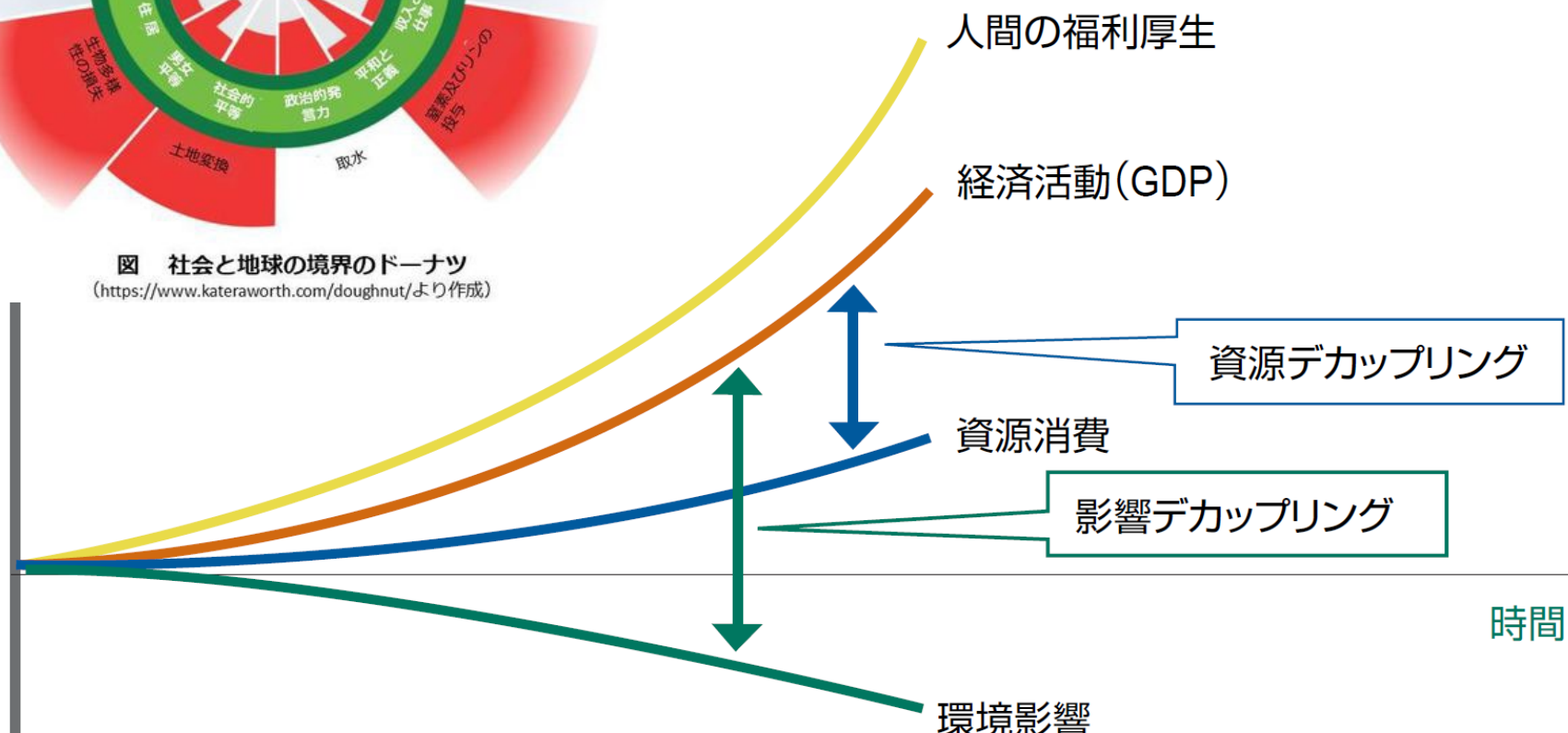


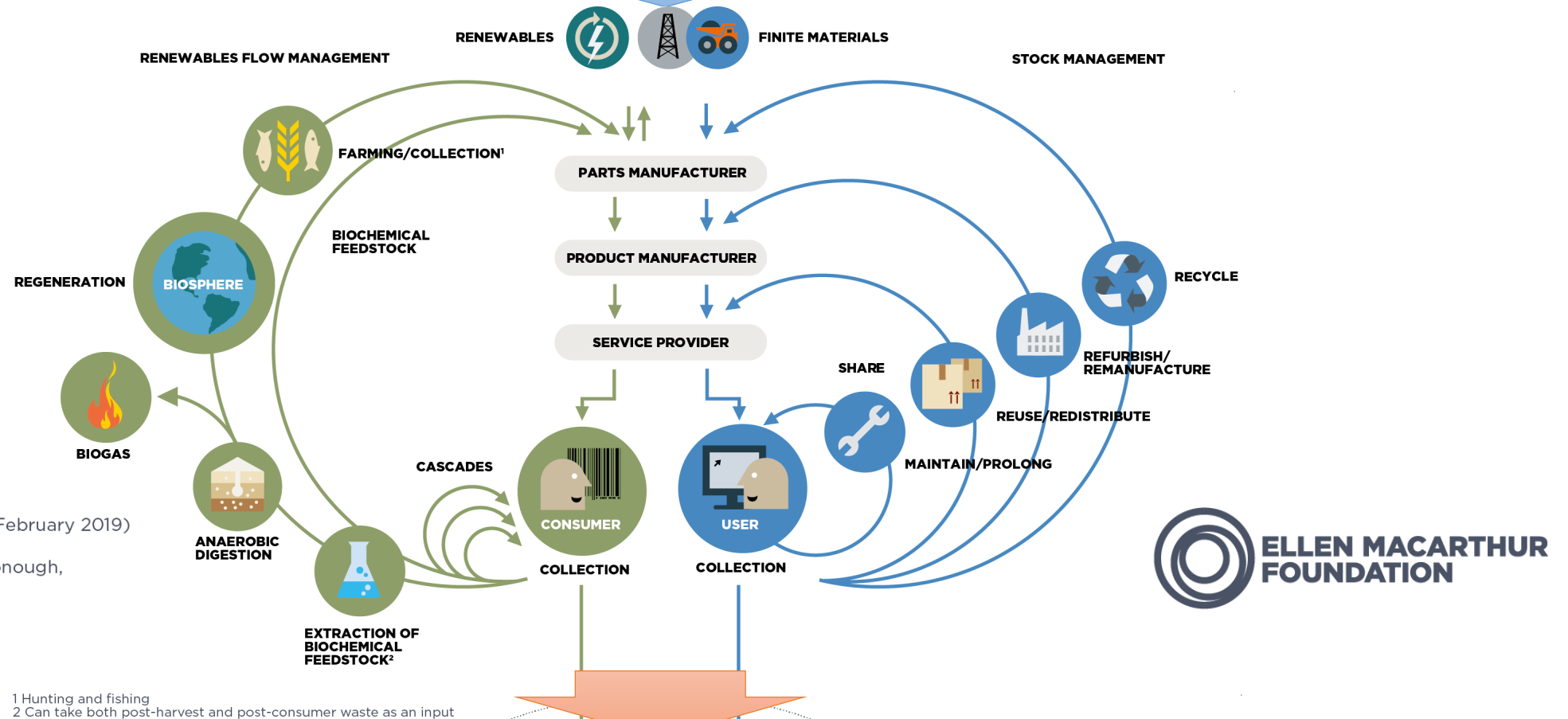
図 社会と地球の境界のドーナツ
(<https://www.kateraworth.com/doughnut/>より作成)



https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7585/Resource_Efficiency_SPM_JP.pdf?sequence=4&isAllowed=y

環境・資源制約の中で成長を志向するサーキュラーエコノミー

環境制約（カーボンニュートラル・生物多様性・デューデリジェンス）
資源制約（資源安全保障・資源ナショナリズム）



成長（産業競争力の強化・Well-beingの向上）
地方創生（雇用の創出・地域経済活性化）

自動車の資源循環

図7. 物質効率性戦略を講じる場合と講じない場合のG7諸国、中国およびインドにおける2050年の自動車の全ライフサイクル排出量

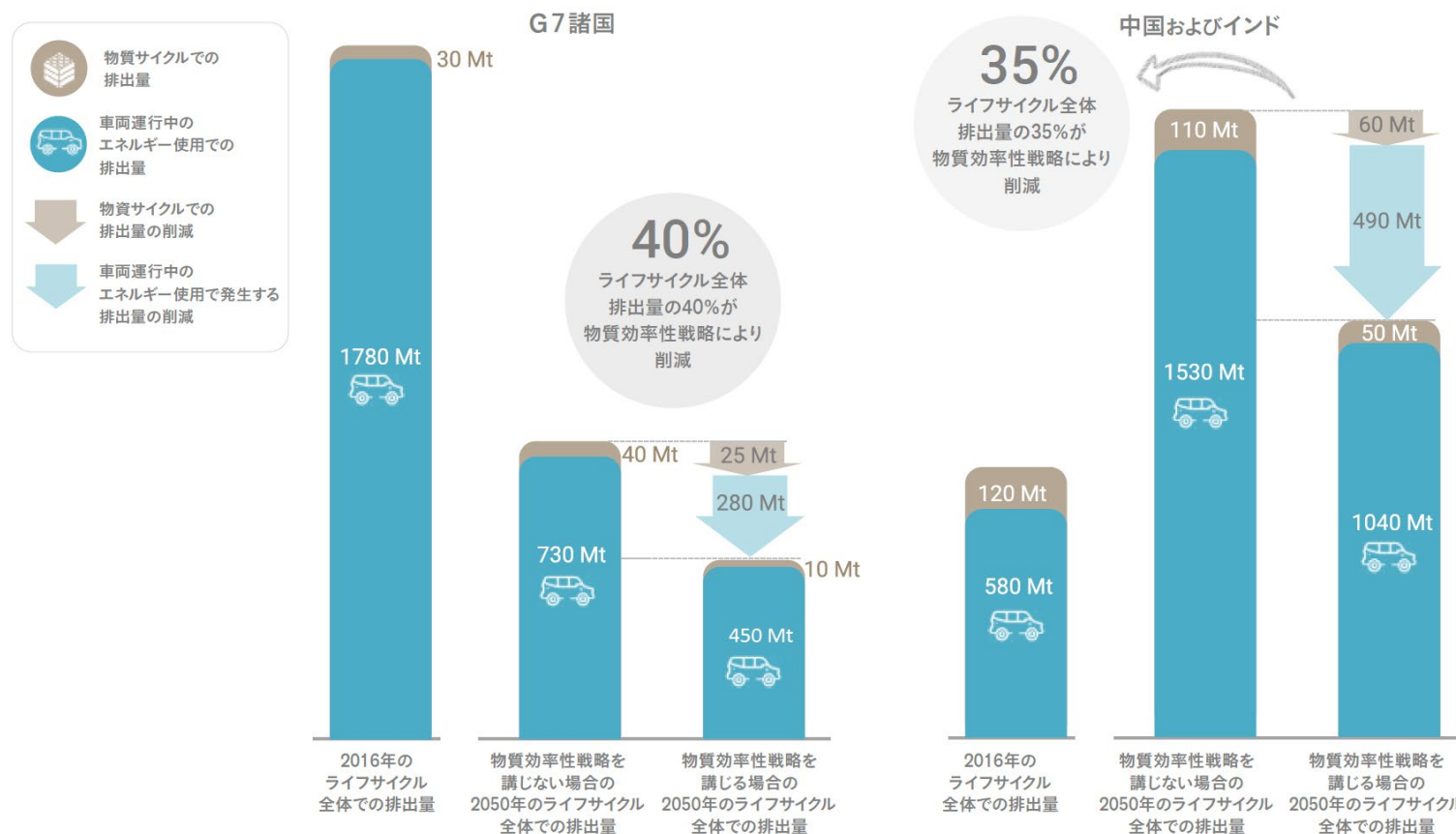
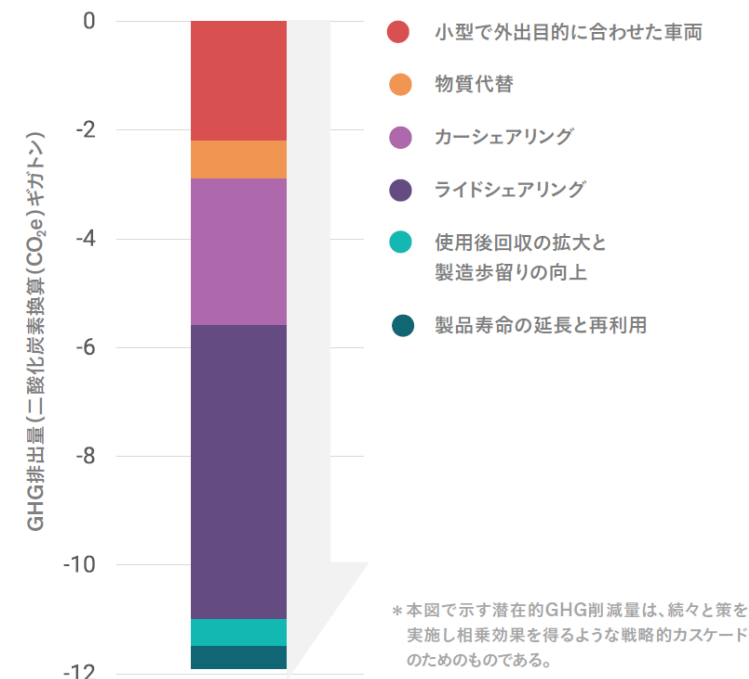


図8. G7における自動車に対する物質効率性戦略による潜在的GHG削減量 (2016年～2060年)



UNEP-IRP: Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future, Report of International Resources Panel (2020).

UP!! 集約化, 多機能化, 高機能化, 稼働率

$$\text{資源効率} = \frac{\text{私たちのWell-being向上のための「機能」}}{\text{必要な資源・エネルギー} / \text{使用年数}}$$

DOWN!! 小型化, 再生材利用, 省エネ

UP!! 長寿命化

高純度な素材が「資源効率の向上」を支えている = 日本のモノづくりの強み

再生材需要の高まりーEUによる戦略的な規制化

■ EU 電池規制

(2023年7月電池および廃電池に関する規則施行)

2031年8月より, 再生Co 16%, 再生Li 6%, 再生Ni 6% 利用

■ EU ELV規制

(2023年7月自動車設計・廃車管理での持続可能性要件に関する規則案)

2030年ごろまでに, 再生プラスチック25% 利用

■ EU 容器包装規制

(2022年11月包装材と包装廃棄物に関する規則案)

2040年までに, 再生食品トレー 50%, 再生飲料ボトル65%,
その他の再生容器包装65%, 利用

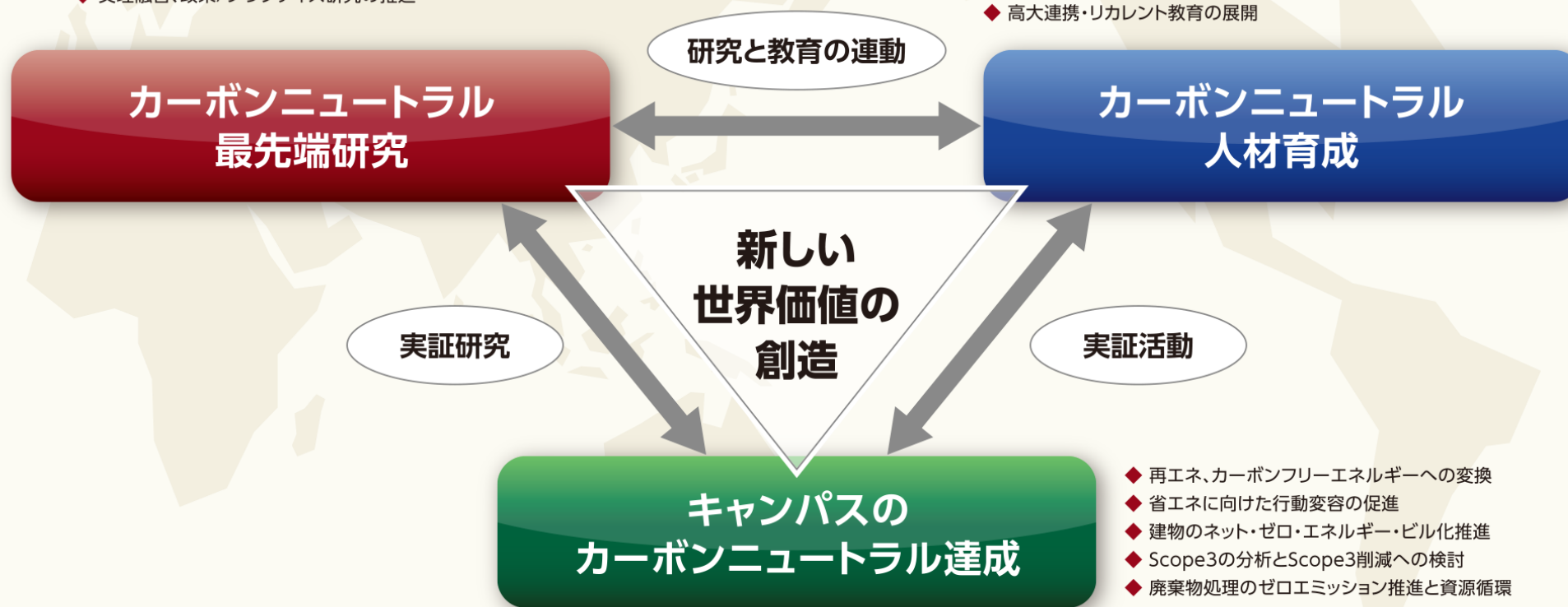
**単なるリサイクルではなく、リソーシング（＝再生材を生み出す）技術とプロセスが必要。
できるだけ内側のループ（製品に近いループ）で機能を循環させると効果的。**

俯瞰的な視野を育てる人財育成

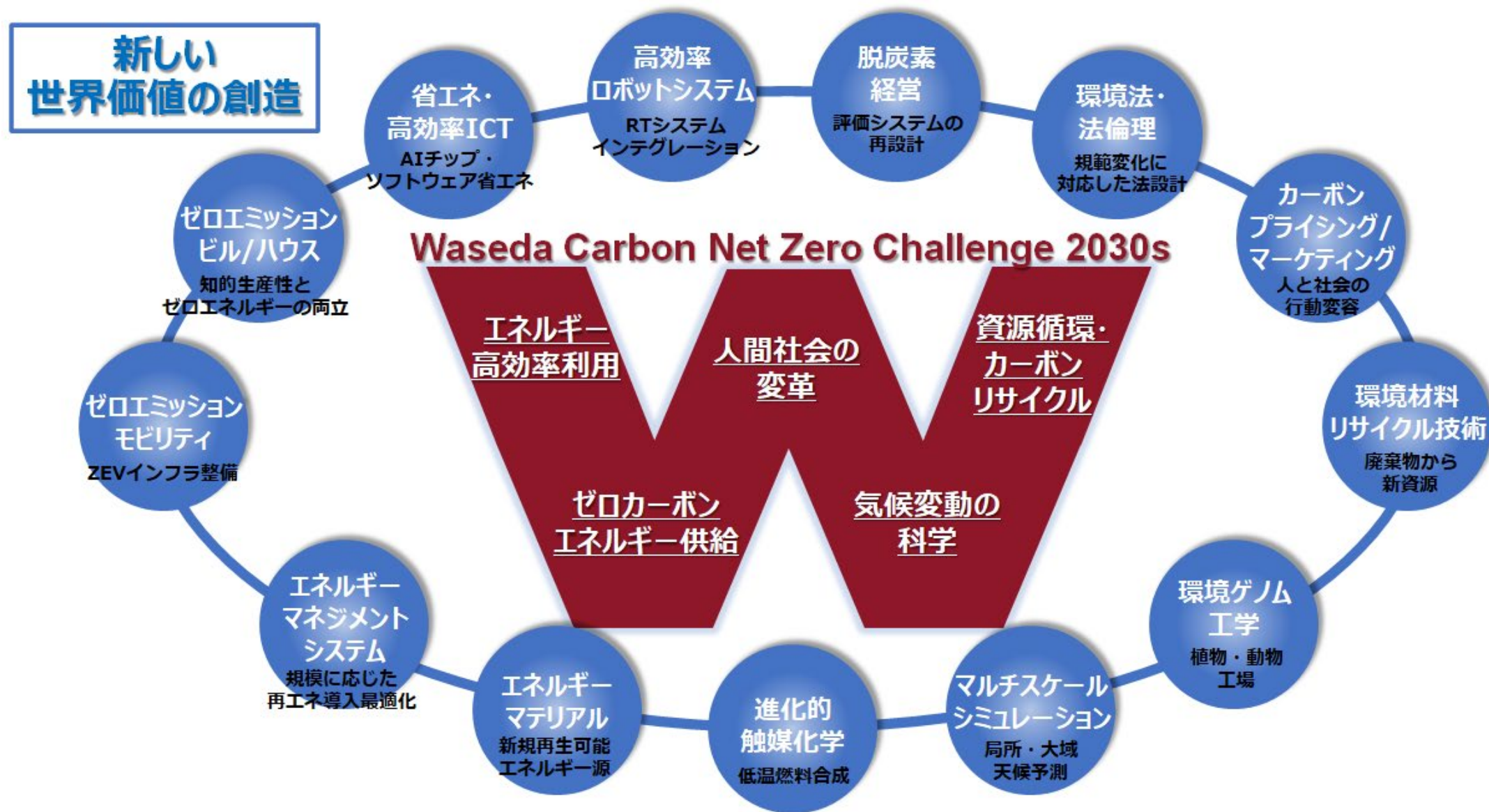
WASEDA Carbon Net Zero Challenge 2030s の基本方針

- ◆ 産官学連携研究の推進と研究成果の国際的発信力の強化
- ◆ 学内研究者間の連携による技術と知識の集結と利活用
- ◆ 「グリーン」と「デジタル」を軸とした研究戦略
- ◆ 次世代エネルギー/カーボンリサイクルの革新的技術開発
- ◆ 文理融合、政策/プラクティス研究の推進

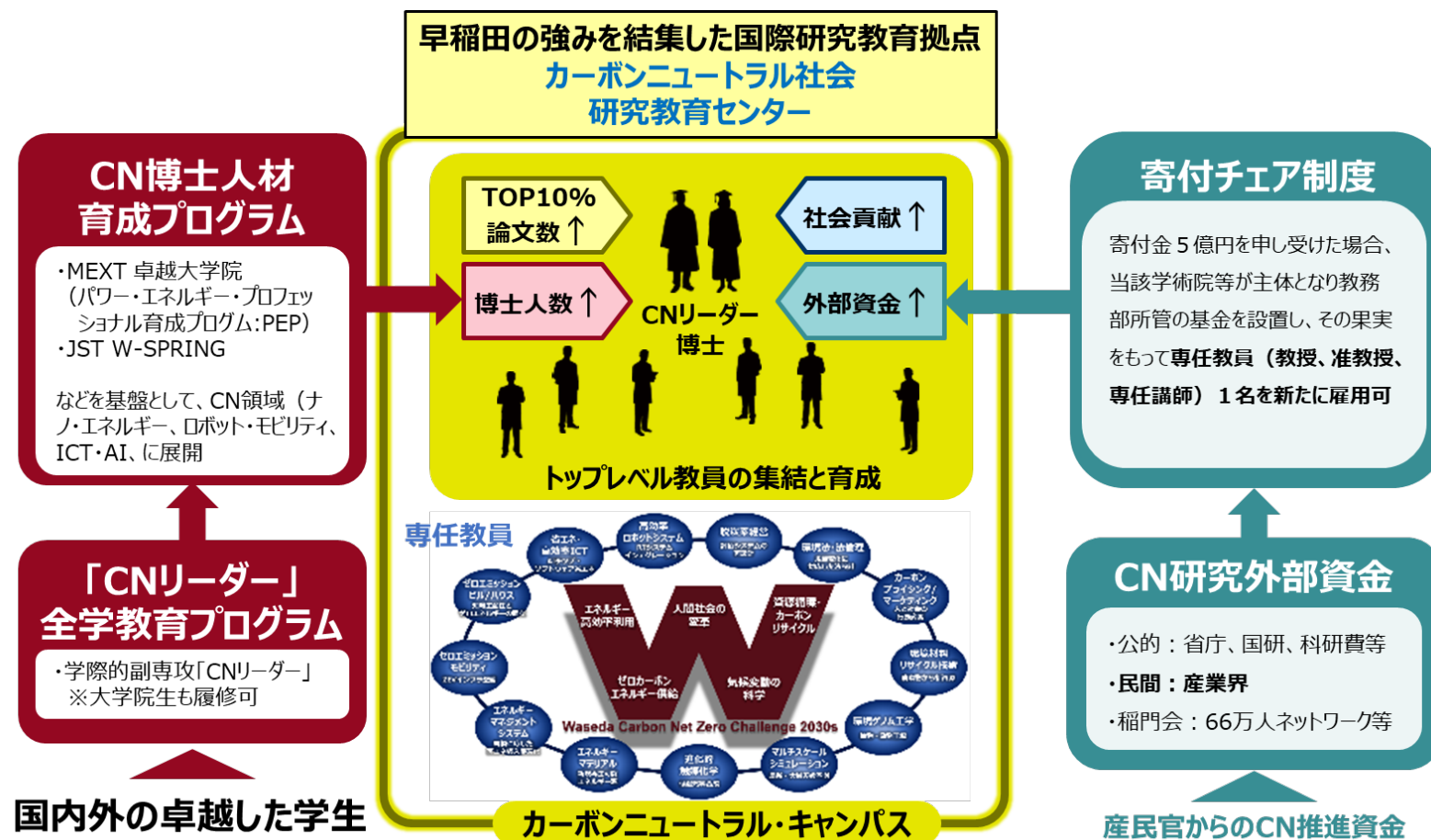
- ◆ 学部副専攻・大学院人材育成プログラムの展開
 - ・全学副専攻の設置
 - ・早稲田大学パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム
 - ・早稲田オープン・イノベーション・エコシステム挑戦的研究プログラムなど
- ◆ カーボンニュートラル オープンセミナーの開催
- ◆ 高大連携・リカレント教育の展開



最先端研究：全学の研究力をカーボンニュートラルに結集



早稲田大学のカーボンニュートラル体制構築: 寄付チェア制度



<https://www.waseda.jp/inst/wcans/news/3805>

カーボンニュートラルを主軸とした俯瞰的な人材育成のための教育改革

カーボンニュートラル研究分野



CN研究分野の
中核に
位置付け



パワー・エネルギー・プロフェッショナル 育成プログラム（卓越大学院）

研究分野

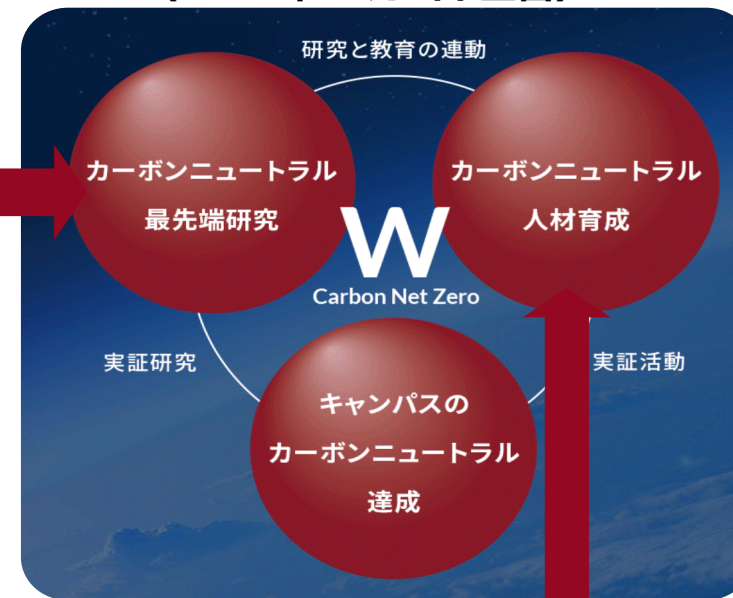
【電力工学】×【エネルギー・マテリアル】×【社会科学】



博士人材育成のフラッグシップ

博士人材育成の
中核に位置付け

Waseda Carbon Net Zero Challenge (2021年11月1日 宣言)



次世代研究者挑戦的研究プログラム

Support for Pioneering Research Initiated by the Next Generation

W-SPRING

対象：博士学生

分野：グリーン イノベーション
ライフ イノベーション
デジタル イノベーション
ソーシャル イノベーション

学部生向け学際的副専攻「カーボンニュートラルリーダー」の開設（2022年度）

【W-SPRINGで設定する4分野】

グリーンイノベーション

プラネタリーバウンダリー、気候変動、カーボンニュートラル、脱炭素社会、スマートグリッド、次世代型太陽電池、全固体電池、新型二次電池、カーボンリサイクル、水素社会、エネルギーキャリア、マテリアルズ革新、ゼロカーボンシティ、ゼロエミッションハウス/ビルなど

ライフイノベーション

新型コロナウイルスなど感染症、少子高齢化、健康・医療戦略、オンライン医療・介護、医療経済、プレジジョンメディシン、ゲノム編集、Well-being、人生100年時代、社会参加寿命、農林水産研究イノベーション戦略、海洋基本計画、レギュラトリーサイエンス、代替タンパク質、プラネタリーヘルスなど

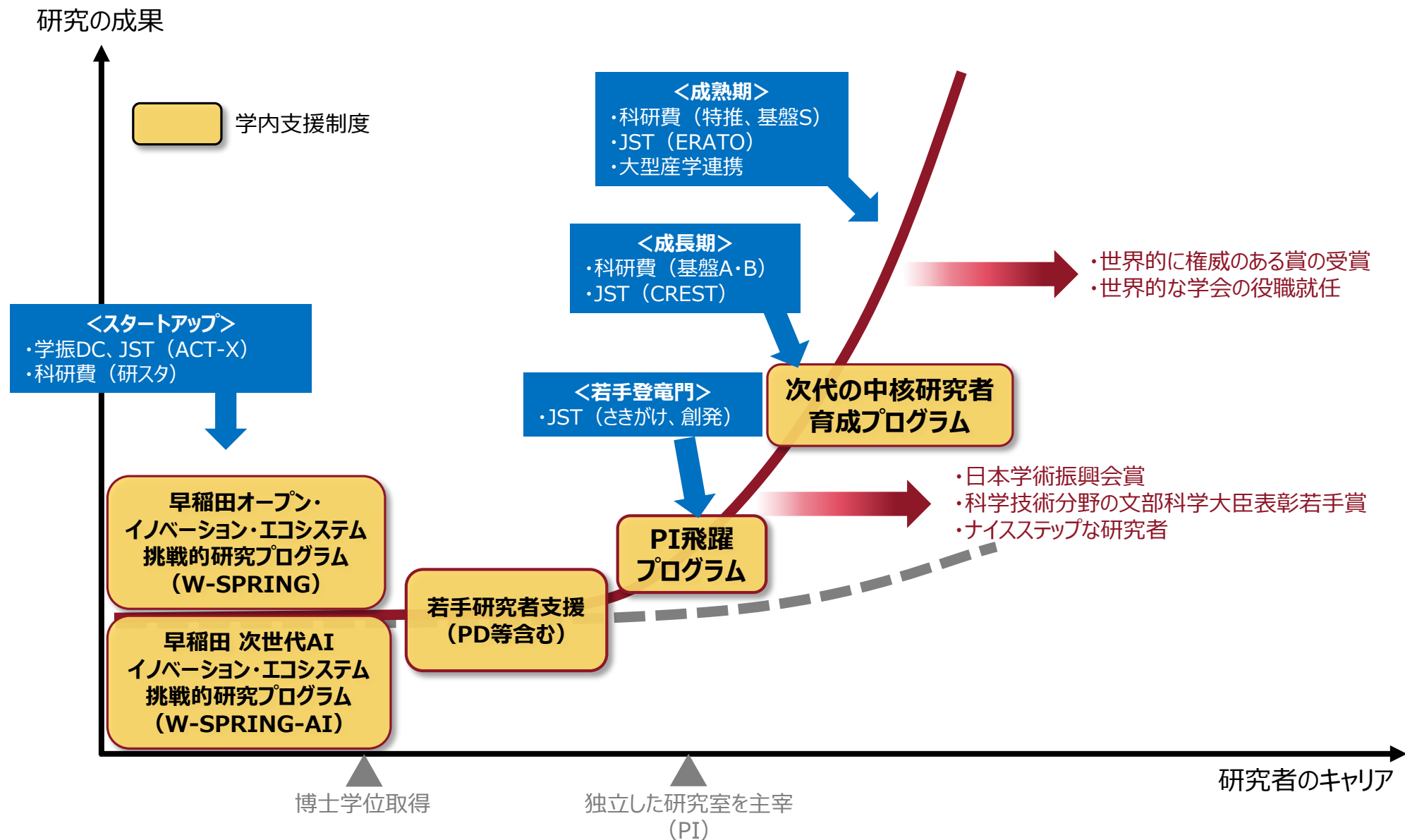
デジタルイノベーション

デジタル化、DX、超低消費電力計算、サイバー空間とフィジカル空間の融合、ロボットによる社会変革、AIと情報、量子コンピューティング、Beyond 5G、データ駆動型研究、スマートラボ、デジタルツイン、スマートシティ・スーパーシティなど

ソーシャルイノベーション

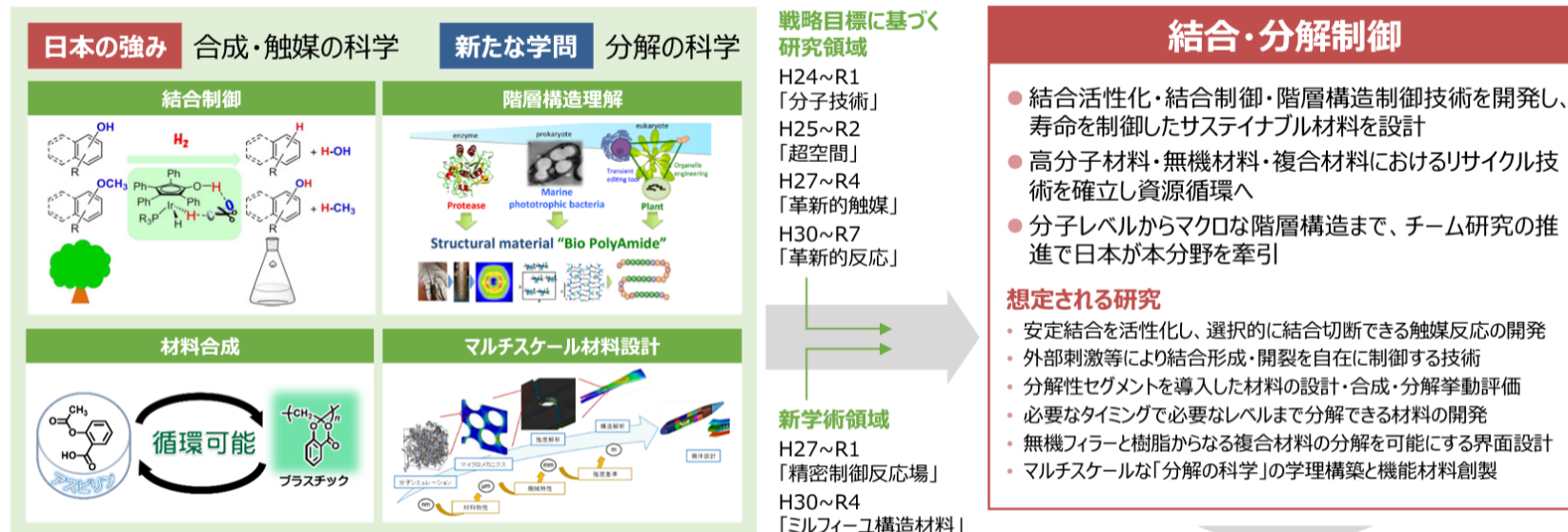
都市と地域づくり、多文化共生社会デザイン、都市農業の戦略的再生、強靱な社会、レジリエント、安全・安心、安全保障、SDGs、サーキュラーエコノミー、資源循環、総合知による社会変革、ELSI、イノベーション・エコシステム、ネイチャー・ポジティブなど

人財育成のステージに応じたプログラム



2021年度文科省戦略目標 「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」

資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御



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



将来の社会像

結合・分解制御が実現する資源循環

- 海洋汚染の解決・環境にやさしい材料
- 体内に埋め込んだ生体材料の寿命・劣化の制御
- 結合開裂を自在に制御できる接着材料、高強度化材料
- 複合材料分野（電化製品、情報端末、自動車用・建築材料）の分解リサイクル手法の確立

資源を無駄にしない**次世代リサイクル**推進、再生により高機能化する**アップグレードサイクル**実現



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

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

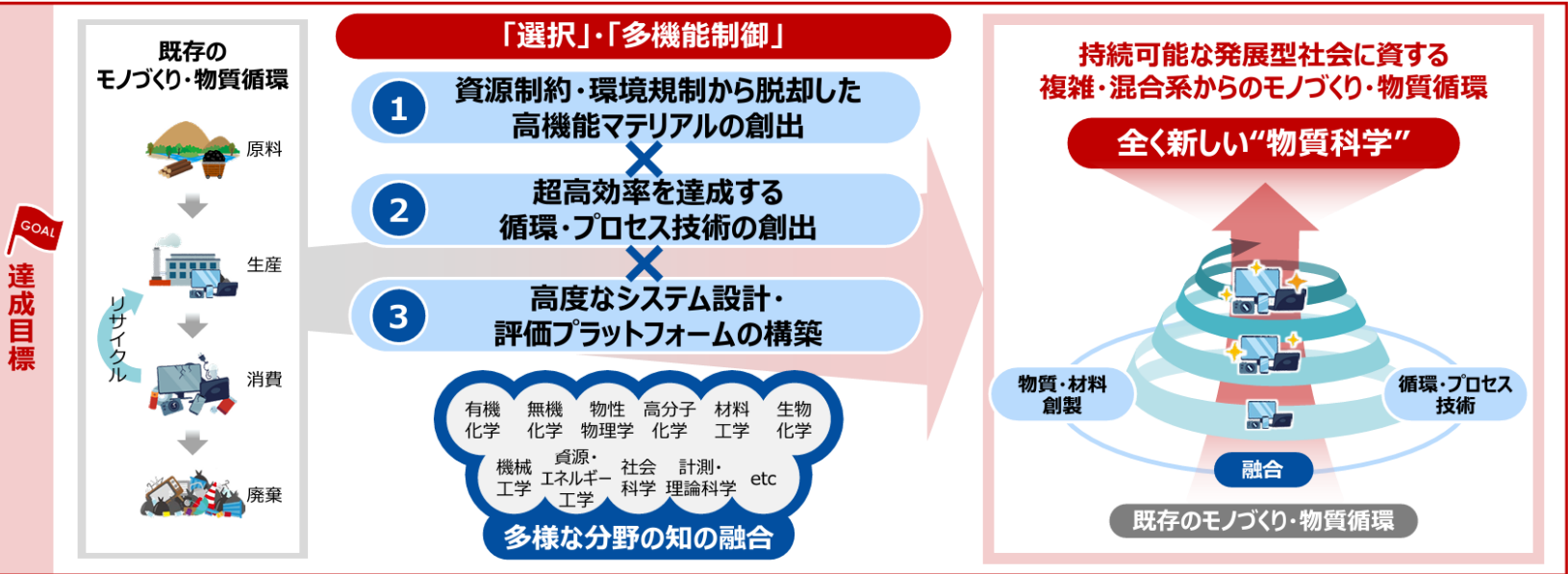
社会課題解決に資する挑戦的な技術開拓

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」：物質循環の中での最適な物質・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マテリアル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]

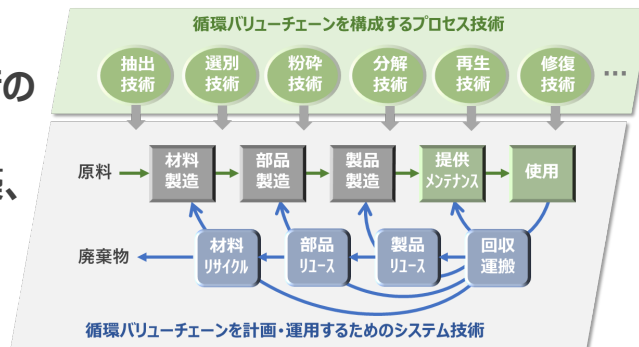
https://www.mext.go.jp/content/20240315-mxt_chousei01-000034470_06.pdf

サーキュラーエコノミー推進に向けた 産学連携活動



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
両面で行い、
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

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



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



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: 50 団体: 6 2024年6月現在 順不同



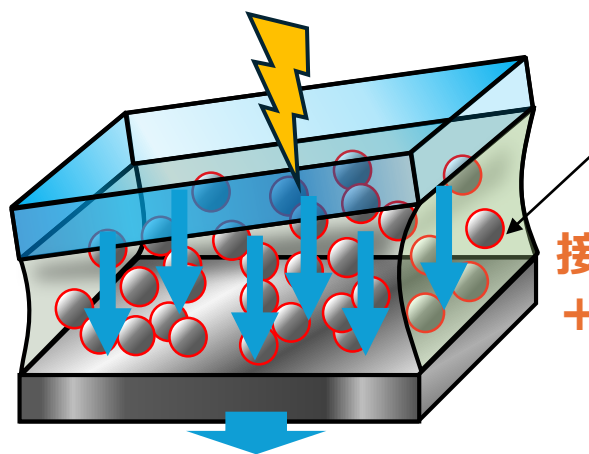
CVCコンソ：毎月のイベントの様子（2023年の例）



	開催日	テーマ	社会実装、政策 提言に向けて	技術 習得	国際 連携
1	4/4	プラスチックリサイクル PartI	○		
2	4/27	チェコとの交流セミナー			○
3	5/26	プラスチックリサイクル PartII	○		
4	6/23	COMSOL チュートリアル		○	
5	6/29	ライフサイクルシミュレーション on AnyLogic		○	
6	7/13	グリーンイノベーションに向けた資源循環の動向/施設見学	○		
7	8/22	LCAチュートリアル - 1		○	
8	9/26	資源循環におけるマスバランス方式の考え方と国内外の動向	○		
9	10/16	LCAチュートリアル - 2		○	
10	11/13	循環バリューチェーン構築に向けた産官学連携の最新動向			
11	12/12	太陽光パネルの資源循環における現状と課題 Part I	○		
12	1/22	太陽光パネルの資源循環における現状と課題 PartII	○		
13	1/24	Curtin大学とのCollaboration Seminar			○
14	2/19	アルミニウムの資源循環と地域創生	○		
15	3/5	ライフサイクルシミュレーション on GD.findi		○	
16	3/9	リチウムイオン電池リサイクル 中国の最新動向			○



「ナノ粒子凝集分散制御による電気パルス刺激での易分解接着の開拓」



導電性ナノ粒子

接着樹脂内に安定して電流を流す
+ 絶縁破壊で大きな剥離力発生

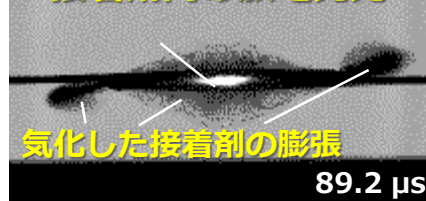
→高接着性と易分解性の両立の実現

- ・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

早稲田大 所G・犬束G

電気パルス放電実験

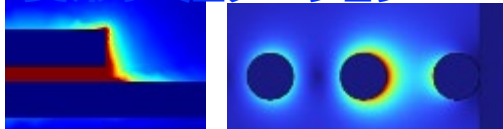
接着剤内の放電発光



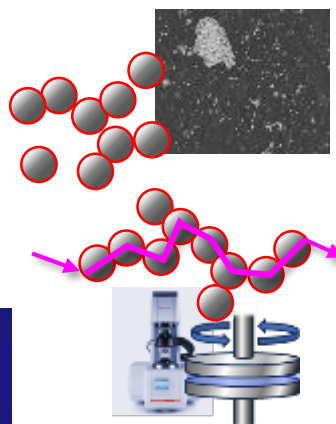
気化した接着剤の膨張

89.2 μs

電場電流・ 変形シミュレーション

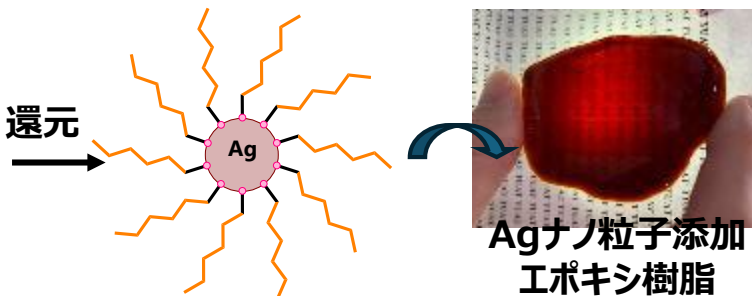
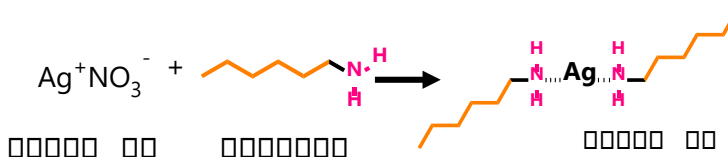


凝集分散構造・ 界面構造解析



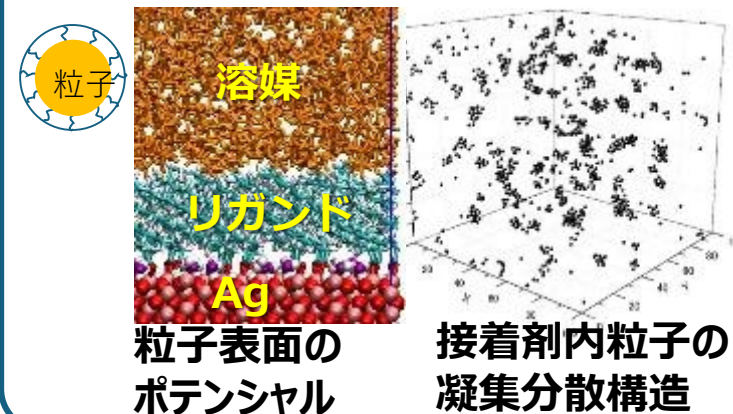
農工大 岡田G

リガンド修飾Agナノ粒子の合成

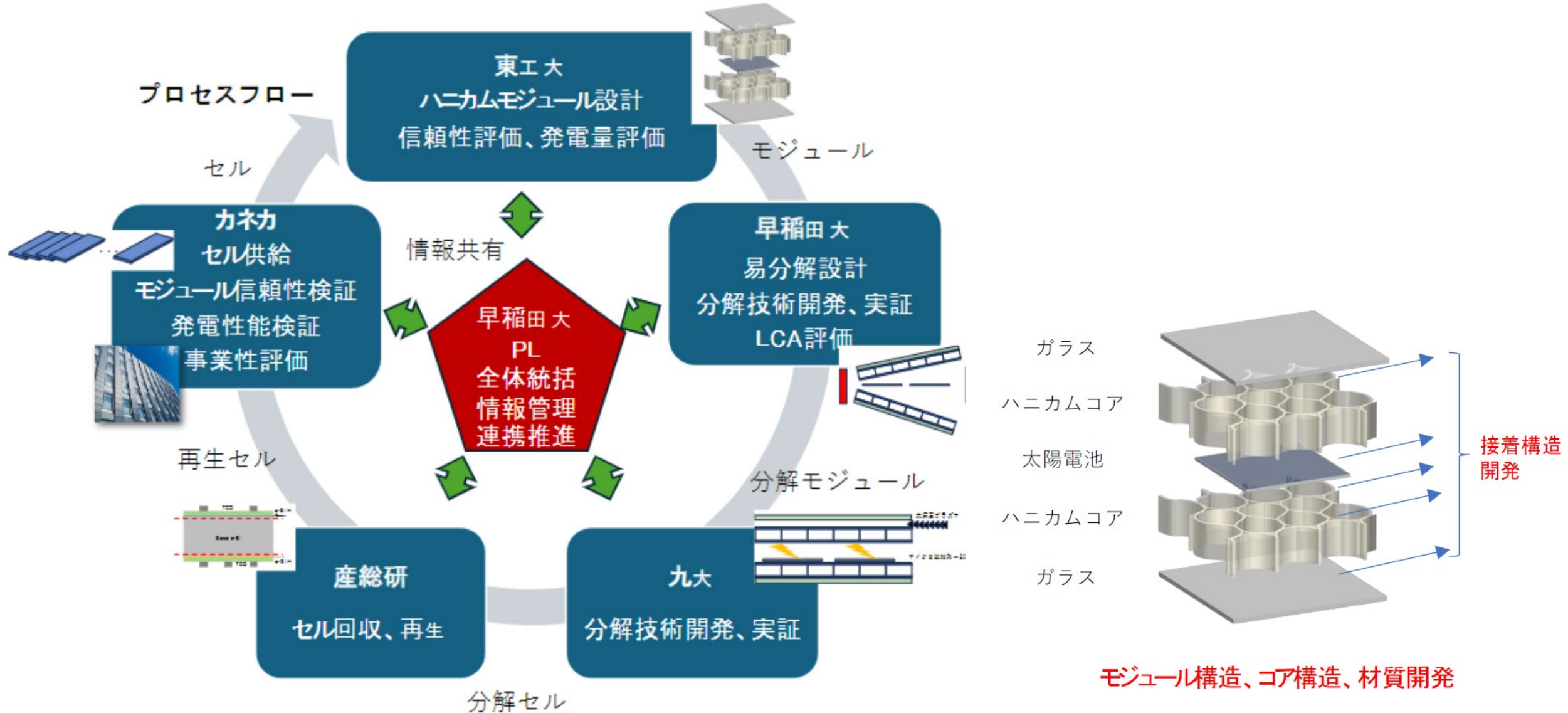


東北大 久保G

分子スケール+ 粒子スケールシミュレーション



NEDO先導研究：易分解・軽量高剛性・低環境負荷サステナブルP Vモジュール開発



環境省 令和5年度自動車リサイクルにおける再生材利用拡大に向けた産官学連携推進事業

DENSO「ELV自動精緻解体を起点とした水平サイクルを実現する動静脈一体プロセスの技術実証」



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

＜電気パルス集合粉碎＞

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・粉碎

**ランダムな放電経路
数百回の放電を前提**

NEDO グリーンイノベーション（GI）基金 日産自動車「低CO2リサイクルを実現するバッテリーエコサイクルの構築」

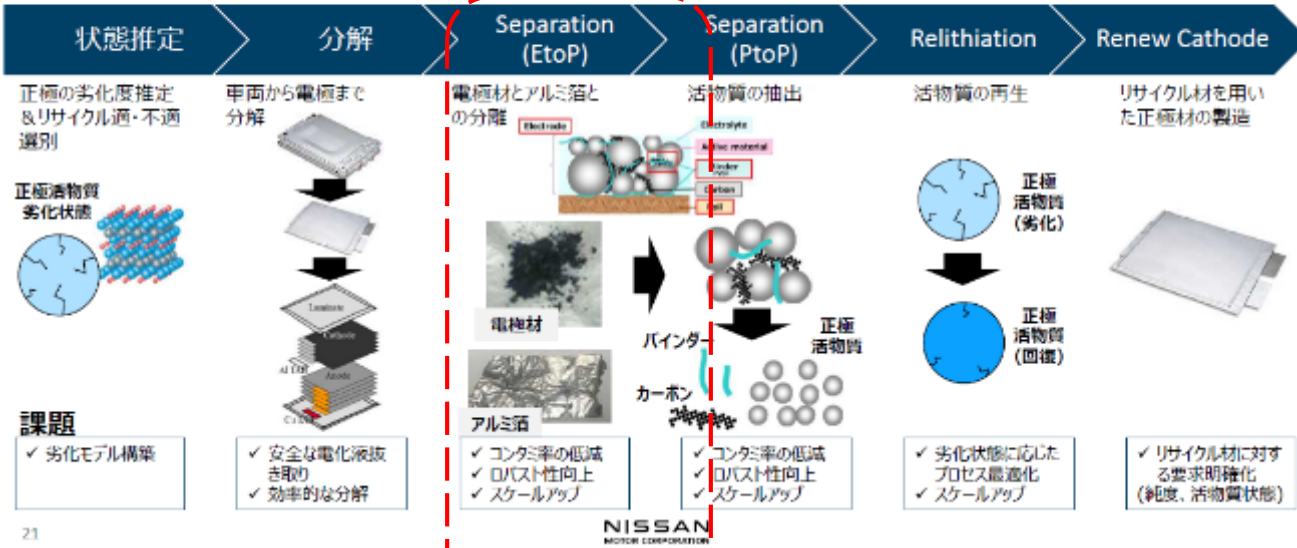
リサイクルの全体工程設計

公開資料

<https://green-innovation.nedo.go.jp/pdf/next-generation-storage-batteries-motors/item-001-2/vision-nissan-002.pdf>

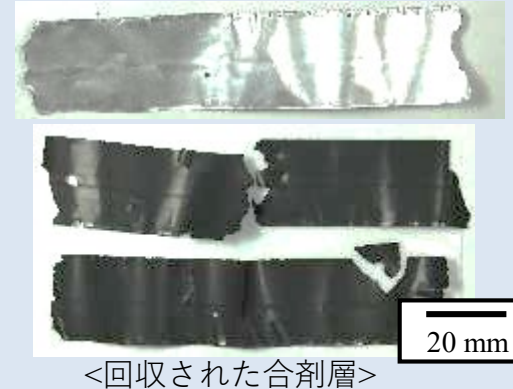
- 各工程における性能（収率・純度・・・）を検証し、リサイクル全体工程を設計する（手法組み合わせ検討）
- 手法組み合わせによるリサイクル全体工程の達成度合いを実測にて実施する

ダイレクトリサイクルの工程

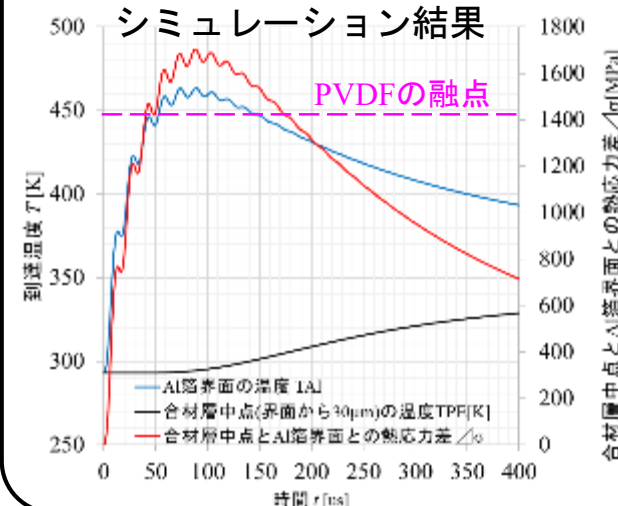


電気パルスによる分離の 最適エネルギー密度 ED と分離機構の解明

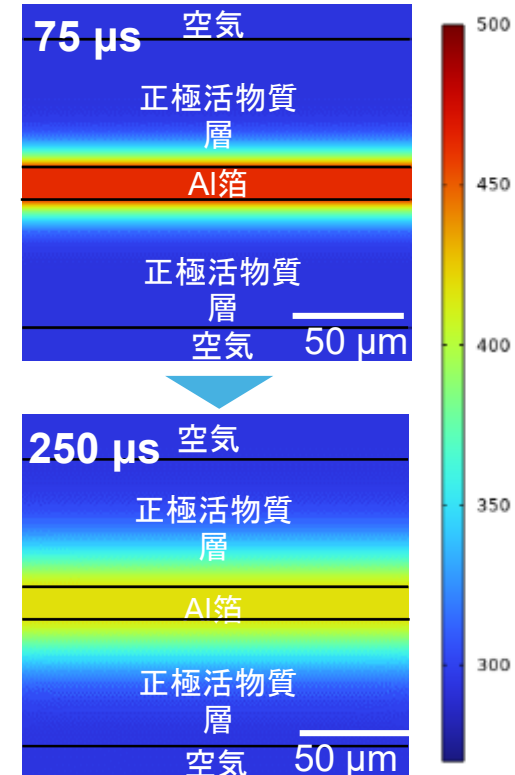
$$ED = 1.60 \text{ J/mm}^3$$



<回収された合剤層>



電流伝熱シミュレーション



研究課題【早稲田大学(所研)】

- 分離メカニズムの特定
⇒ 正極状態・仕様での技術的なロバスト性の確立
- 分離の最適エネルギー密度の解明による
集電箔素材のAlコンタミの抑制

NEDO グリーンイノベーション（GI）基金

JERA「リチウムイオン電池の低環境負荷型リサイクルプロセスの開発」

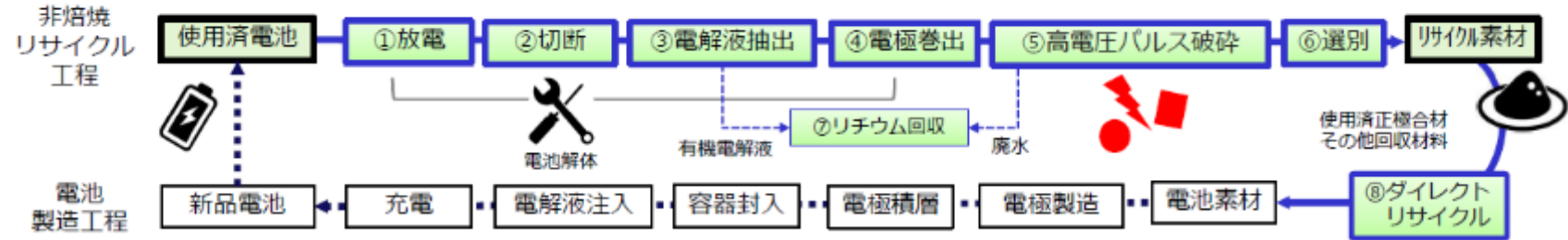
公開資料

<https://green-innovation.nedo.go.jp/pdf/next-generation-storage-batteries-motors/item-001-2/vision-jera-002.pdf>

2. 研究開発計画／参考資料

非焙焼分離回収+ダイレクトリサイクル工程

■ 提案する非焙焼リサイクル法は放電から始まる下記工程で使用済電池からの素材分離回収を行う手法

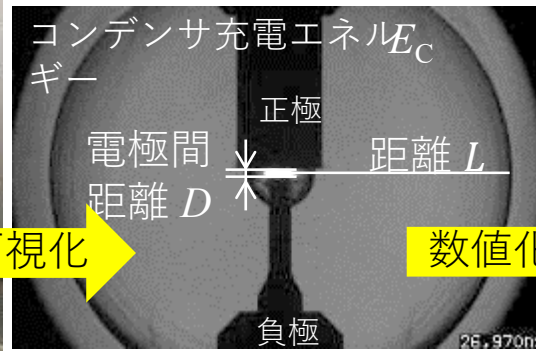


【早稲田大学(所研)】サイクルプロセス開発での高電圧パルス粉碎装置の設計指針に資するために研究課題①，②の研究を実施

研究課題①「電気パルスと衝撃波の速度と圧力の相関把握」

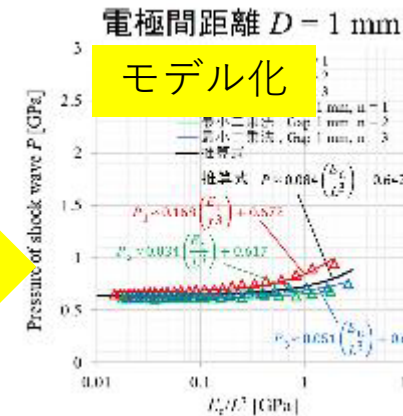


高電圧パルス可視化装置

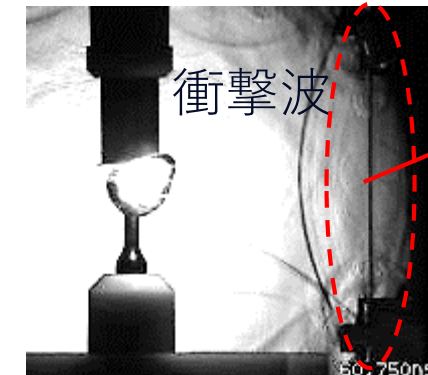


電気パルス衝撃波の可視化

数値化



研究課題②「電気パルスによるLiB正極材剥離原理の推測」



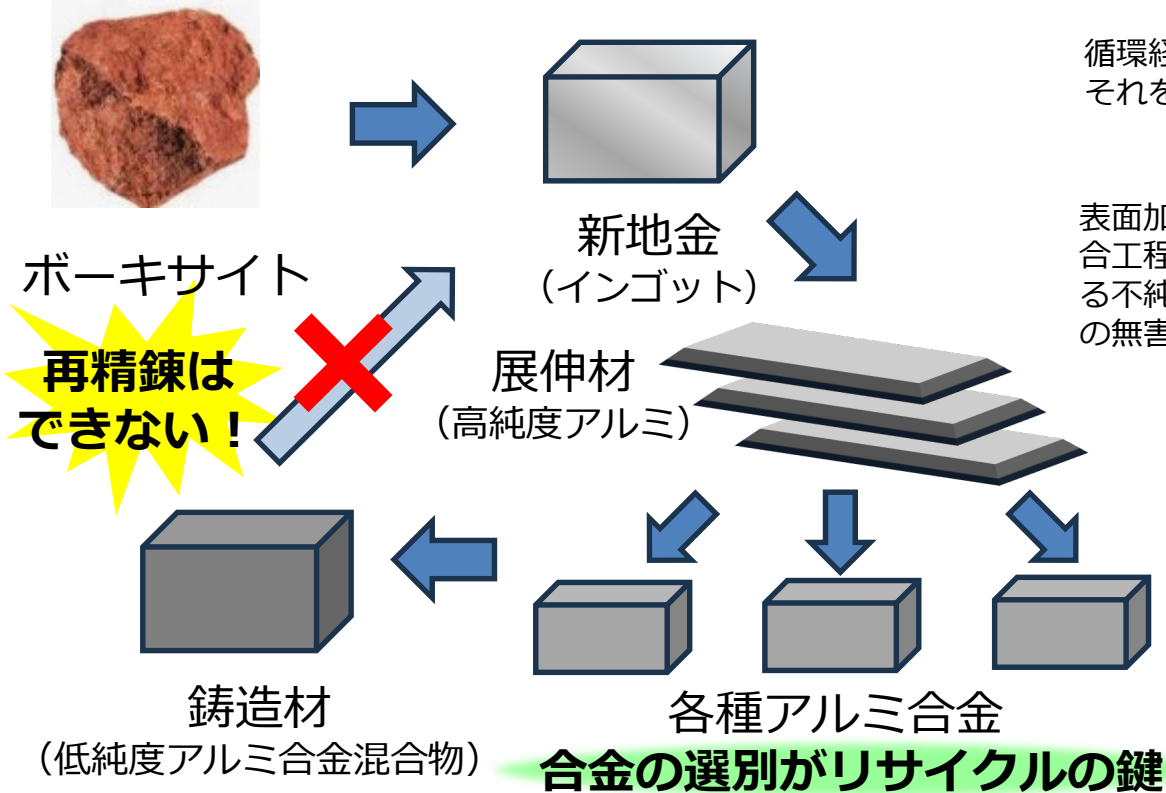
LiB正極材内からの衝撃波

ビジョン

アルミから
はじまる

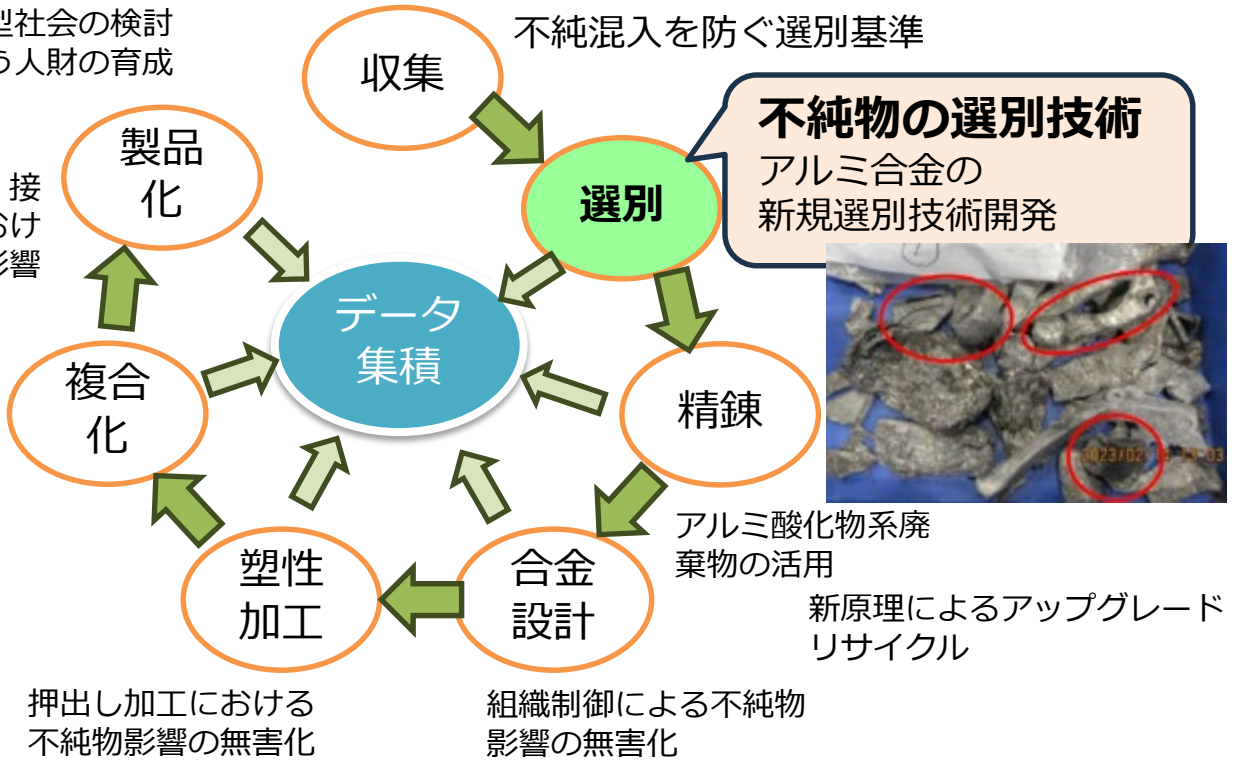
循環経済型イノベーション都市

アルミ産業が盛んな富山県がアルミを通じて循環経済を構築し、地域を活性化させる10年プロジェクト



循環経済型社会の検討
それを担う人財の育成

表面加工・接合工程における不純物影響の無害化





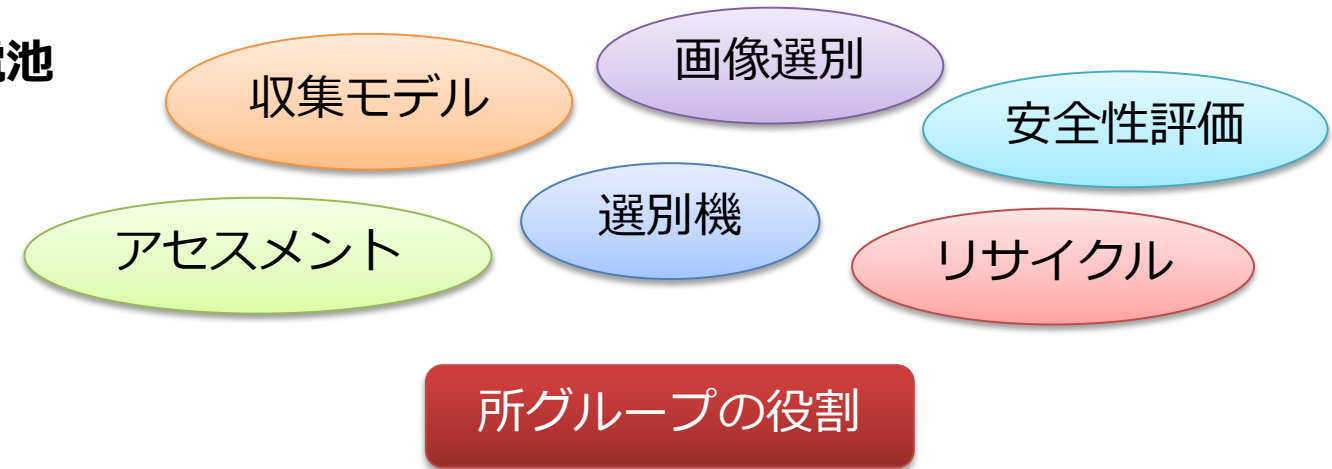
頻発するリチウムイオン電池
による火災



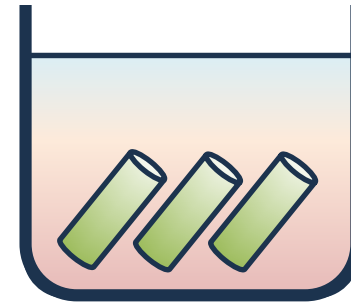
安心・安全な処理フローの構築
「東京モデル」の提唱へ



リチウムイオン電池入りの小型家電を
いかに収集、選別し安全に処理するか



放電・失活の科学



意外に少ない基礎知見の整理
適切な溶液組成／温度変化／発生ガス
／時間依存性／活物質のダメージ
等の定量

装置設計



簡単・安全な失活装置構築
電気パルスによる予備破碎
基礎知見を活かした失活モニター
後工程へつながる素材回収

共同研究 (JOGMEC)

休廃止鉱山による自然回帰型坑廃水処理 (パッシブトリートメント)

における有害金属除去機構の解明と水平展開に向けた予測モデル構築

休廃止鉱山



坑廃水中の金属濃度が排水基準値未満になるまで、半永久的に処理・管理が求

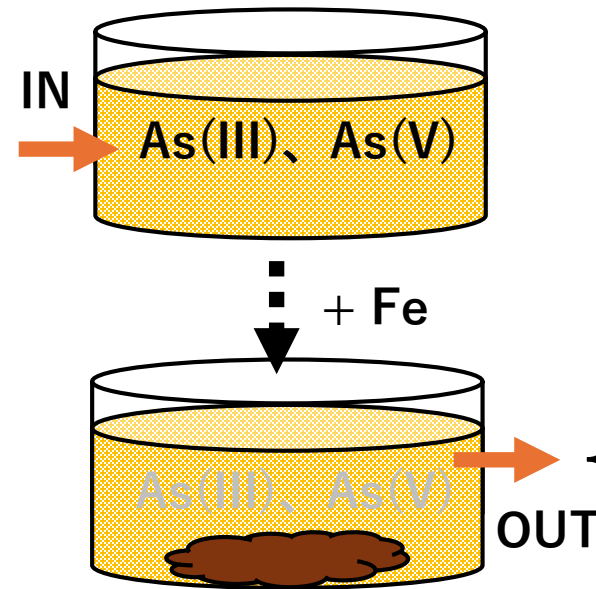
自然放流

自然の浄化作用を利用した処理技術の導入

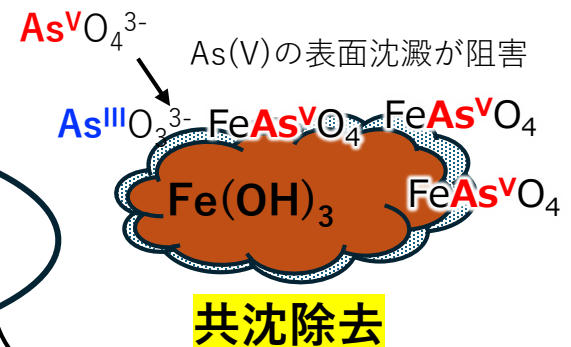
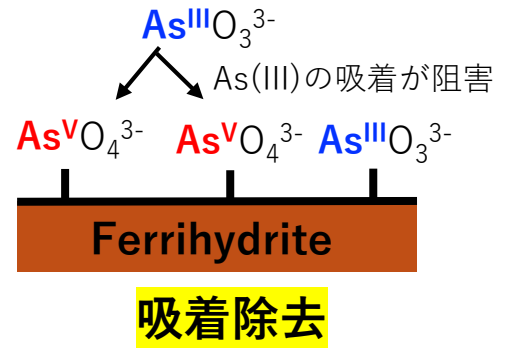
- 管理コスト低
- 環境負荷低減

処理機構の解明、予測モデル構築

例 1) 坑廃水中のヒ素除去



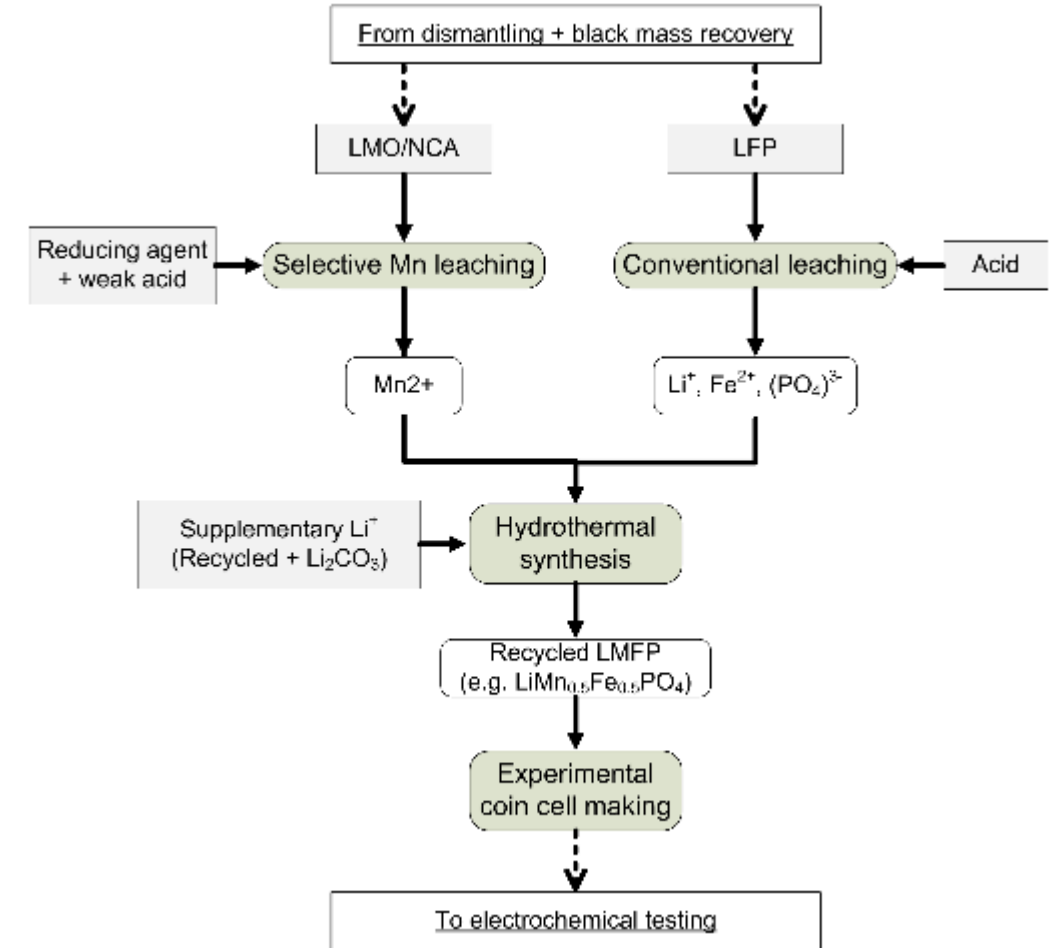
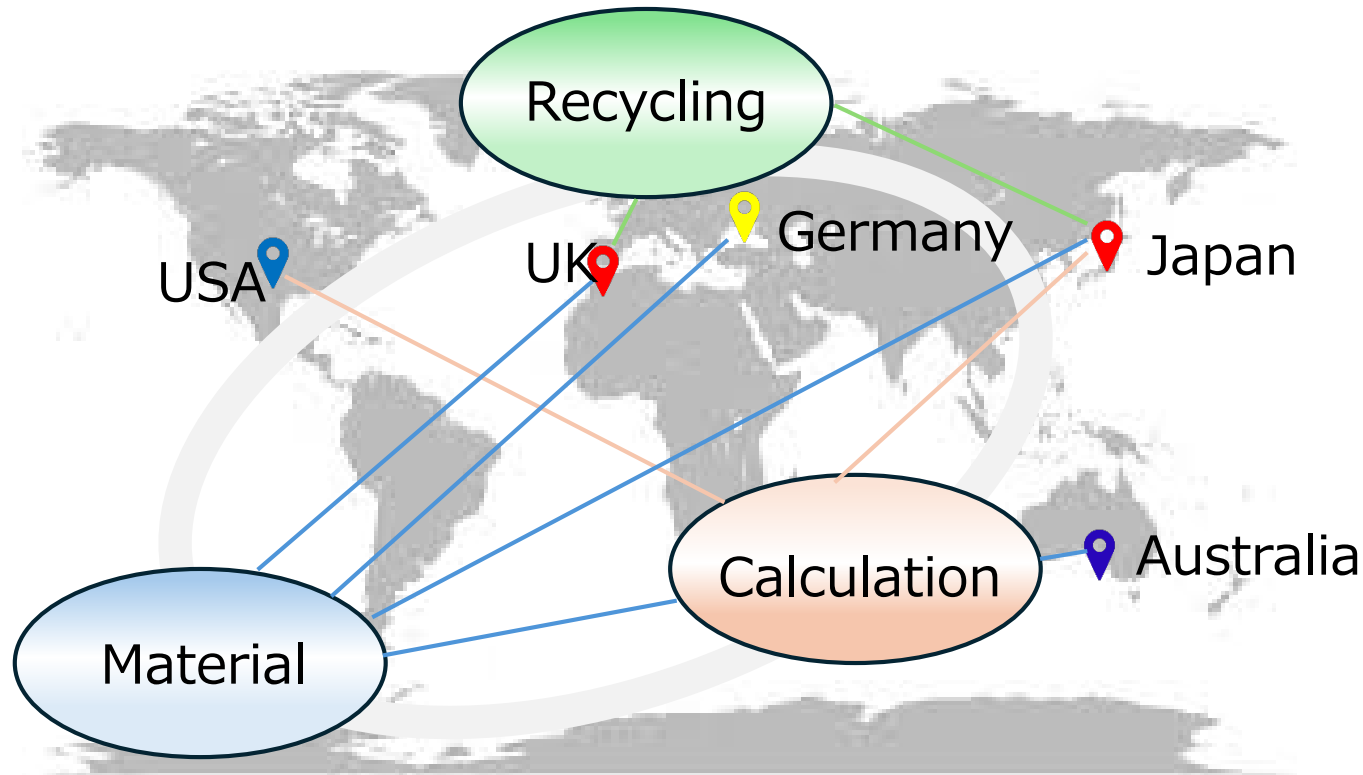
As(III), As(V) 共存系
Fe吸着・共沈除去機構



+ 地球化学モデル
(PHREEQC、GWB)
により反応機構を説明

Decentralized International Collaboration Network for Innovative Battery Technology and a Net-Zero Society

Ongoing collaborative research between Tokorolab and University of Birmingham, UK as part of JST-ASPIRE Project



Developing sustainable next generation energy storage materials for carbon neutrality



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

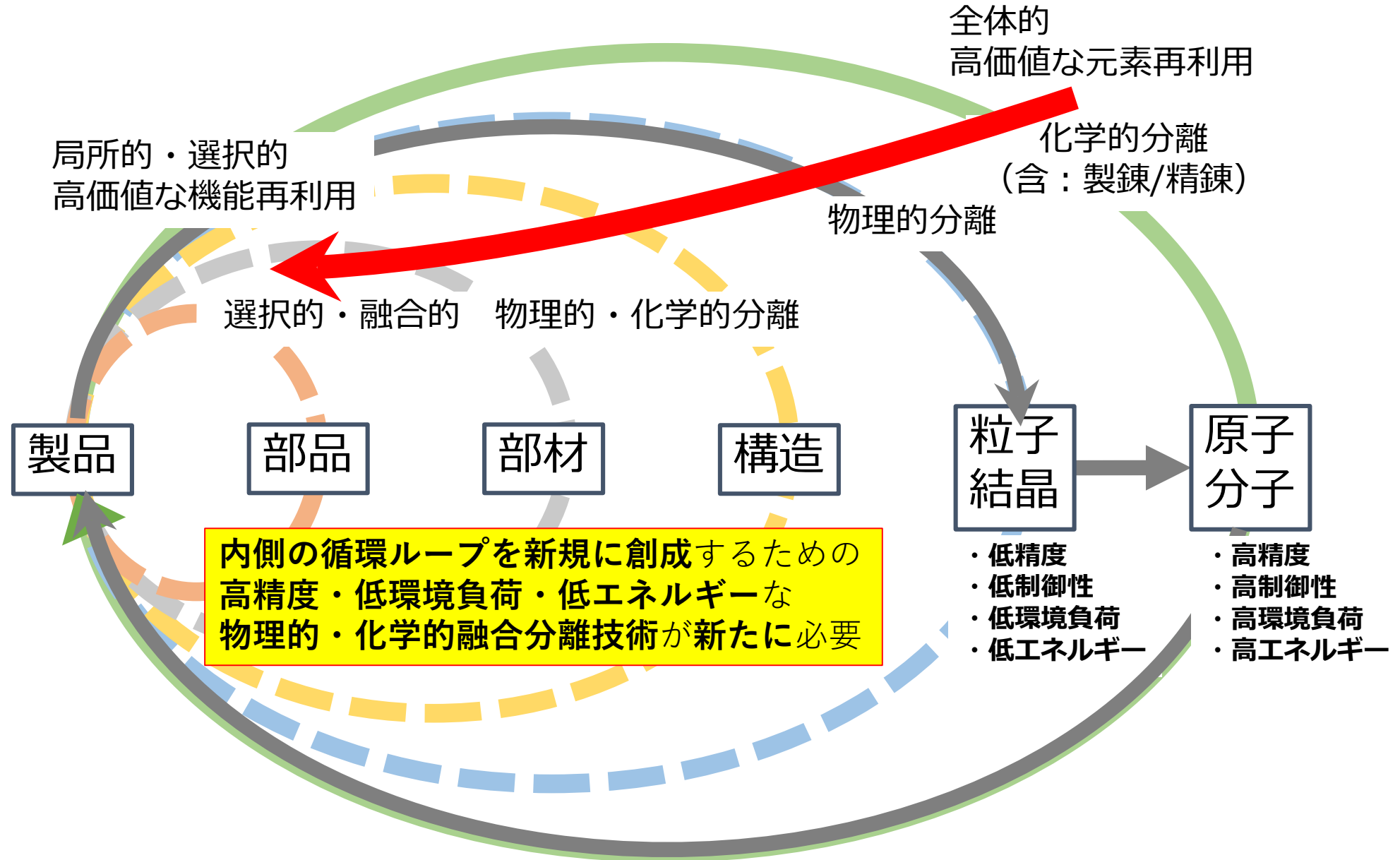
実験動画

GR研究会関連論文集

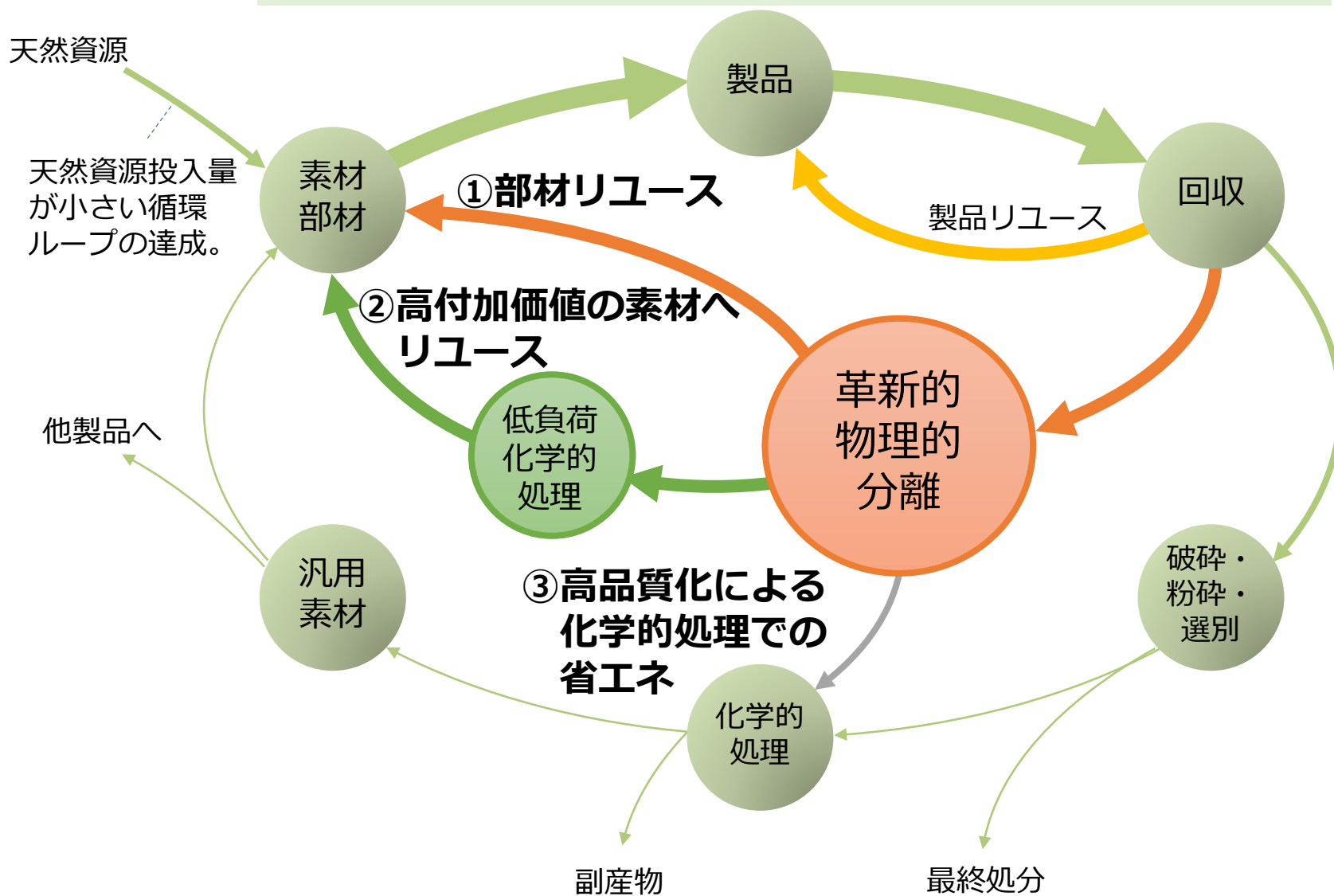
[top](#)

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

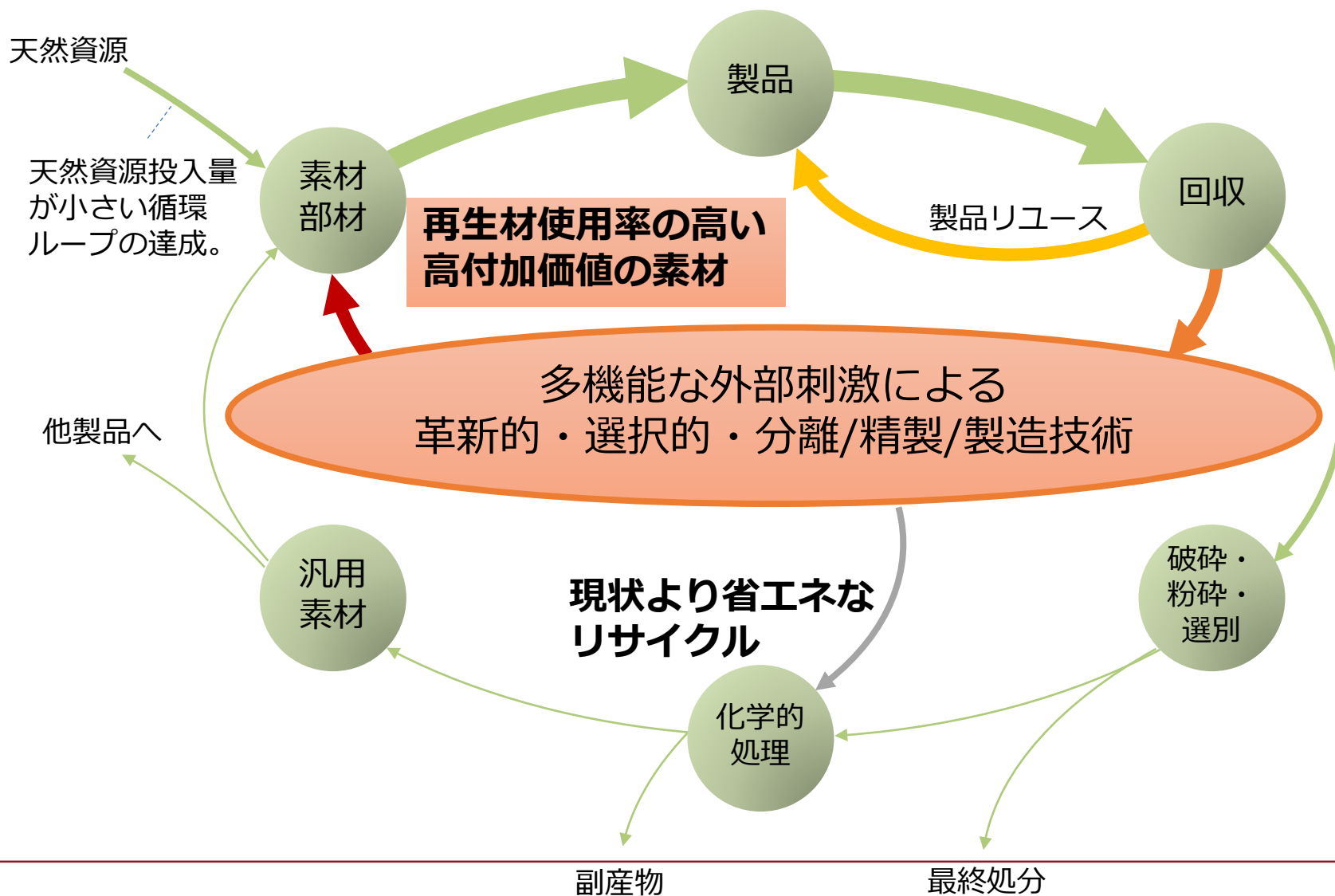




太く短い多重ループによる循環生産システムの構築



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



ご清聴ありがとうございました

所 千晴

tokoro@waseda.jp

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