

<公開成果報告会>

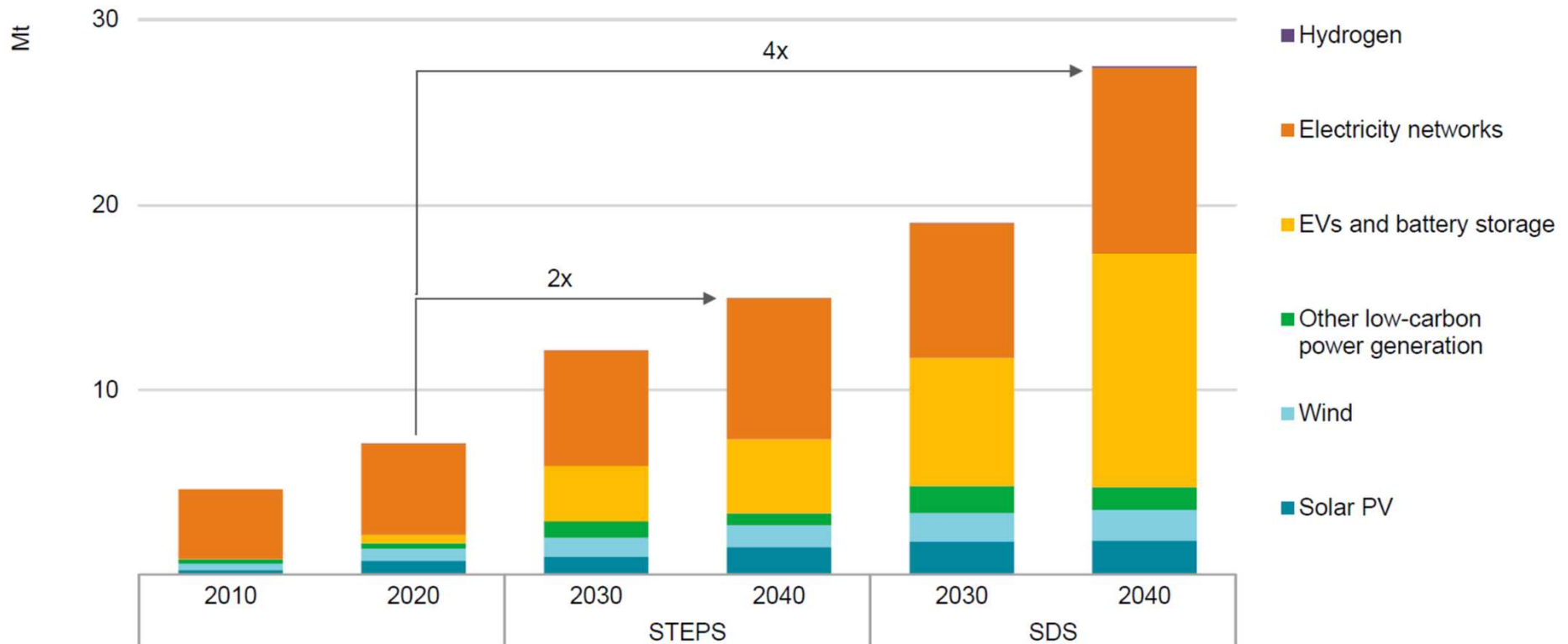
未来のモビリティ社会の 資源循環ループを創生する技術革新

JST 未来社会創造事業 本格研究 所課題
「製品ライフサイクル管理とそれを支える
革新的解体技術開発による統合循環生産システムの構築」

2023/2/21

研究代表者： 所 千晴 早稲田大学 理工学術院
主たる共同研究者： 浪平 隆男 熊本大学 産業ナノマテリアル研究所
菊池 康紀 東京大学 未来ビジョン研究センター

カーボンニュートラル伴う所要鉱物量の増加



IEA. All rights reserved.

Notes: Includes all minerals in the scope of this report, including chromium, copper, major battery metals (lithium, nickel, cobalt, manganese and graphite), molybdenum, platinum group metals, zinc, REEs and others, but does not include steel and aluminium (see Annex for a full list of minerals). Mt = million tonnes.

STEPS: IEA Stated Policies Scenario: 世界各国が公表している政策シナリオ

SDS: IEA Sustainable Development Scenario: パリ協定に基づきカーボンニュートラル施策を進めるシナリオ

IEA, World Energy Outlook Special Report, IEA Publications, 2021.



当研究室が目指す資源循環型社会

太く短い内側の多重ループによる循環生産システムの構築

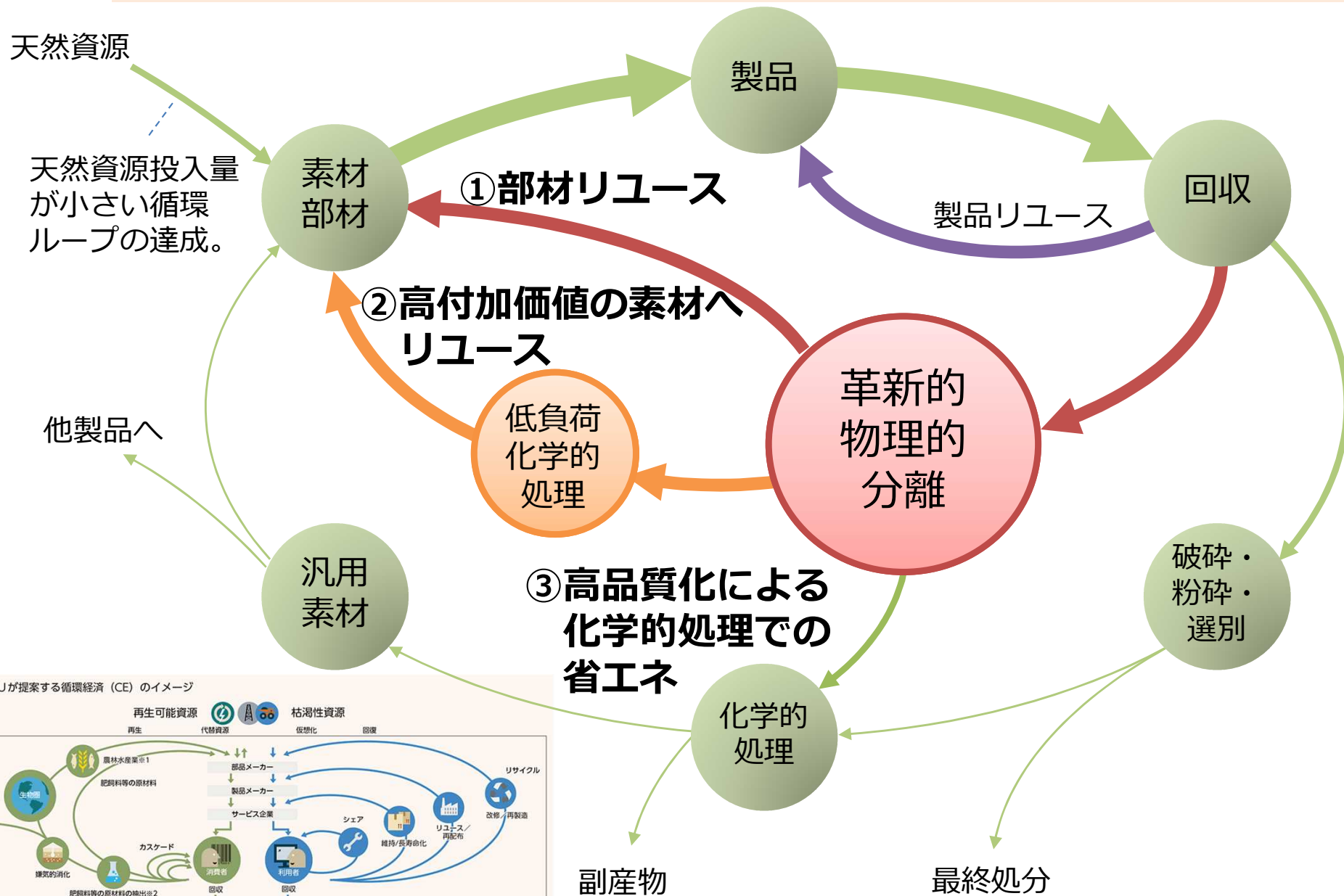
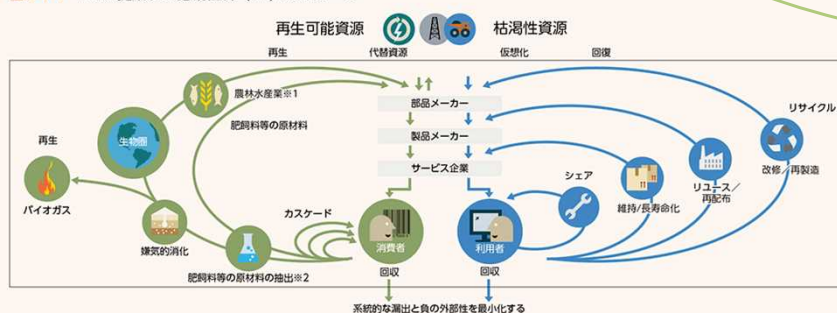


図3-1-1 EUが提案する循環経済（CE）のイメージ



注： ※1 狩猟と漁撈（ろう）

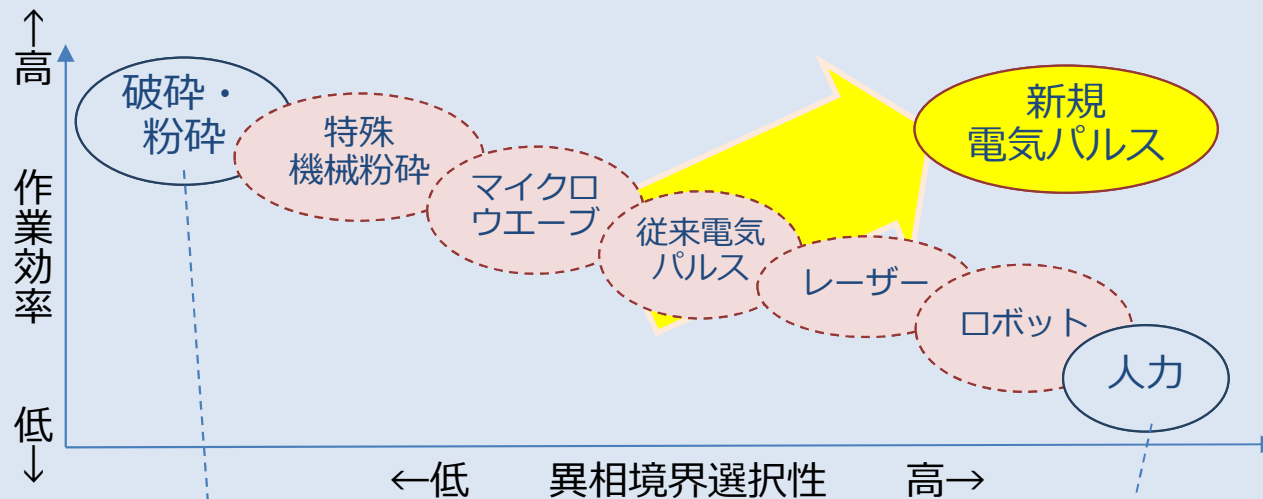
※2 収穫後と消費済の廃棄物の両方を投入として利用可能

資料：Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment [Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C)] より環境省作成



資源循環型社会構築に向けた課題認識

現状の解体技術には、破碎・粉碎または手解体しか実用化されておらず、リユース/高度リサイクルに柔軟に対応できる高度分離技術が確立されていない。



- **破碎・粉碎**：機械的弱部を利用した選択性の低い処理法。
- **人力解体**：リサイクル技術が労働集約的で、高効率化されておらず、大量処理に対応できない。

製品から得たい部位を選択的に取り外すことを可能とする
革新的な物理的分離技術の確立



自動車のシュレッダー処理の様子



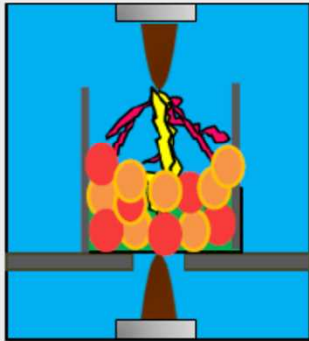
家電の人力解体の様子



新規電気パルス法の分離への適用

従来の電気パルス法

水中の固定電極間に高電圧を複数回印加



- 90年代より機械的粉砕法の代替として研究される
- 石炭・鉱石・電子基板等への応用例がある
- 商用機の販売がある

現状では衝撃波の影響が大きい

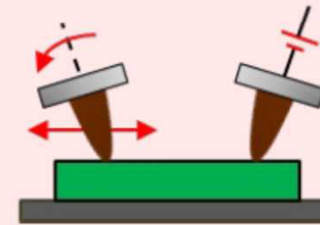
ランダム性が高い粉砕になる

分離精度に課題が残る

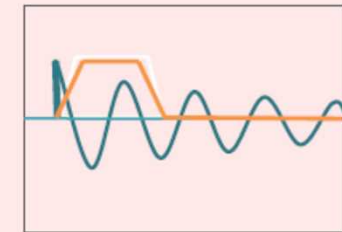
新規電気パルス法

放電経路・電流/電圧波形・印加頻度の精緻制御により選択的粉砕が可能

放電経路の制御



電流/電圧波形の制御



運転条件の精緻な制御

ジュール熱・衝撃波の発生割合および場所が制御可能

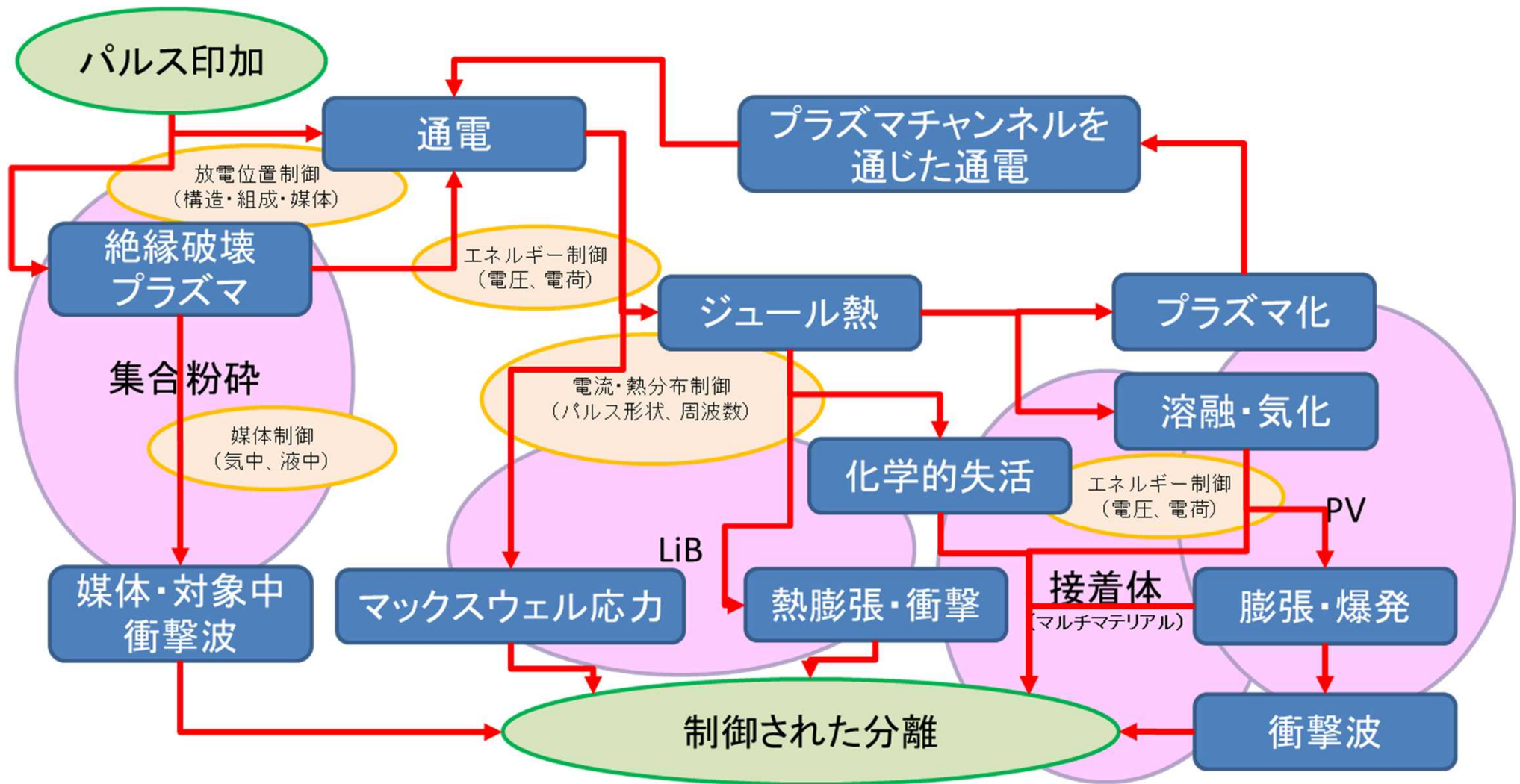
多種多様なリユース・リサイクルの目的に合わせた選択的な分離が可能

電気パルス法： 大きなパワー（ $ns \sim 数百 \mu s$ で電気エネルギー投入）で対象に高電圧を印可することで、様々な現象を発現させることができる。瞬時なので比較的低エネルギーで可能。

新規電気パルス法を軸として
リユース/高度リサイクルに柔軟に対応できる高度分離技術を開発



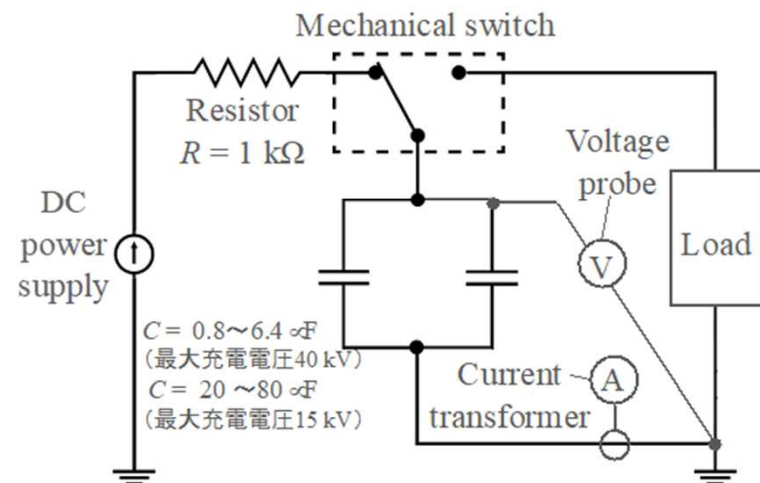
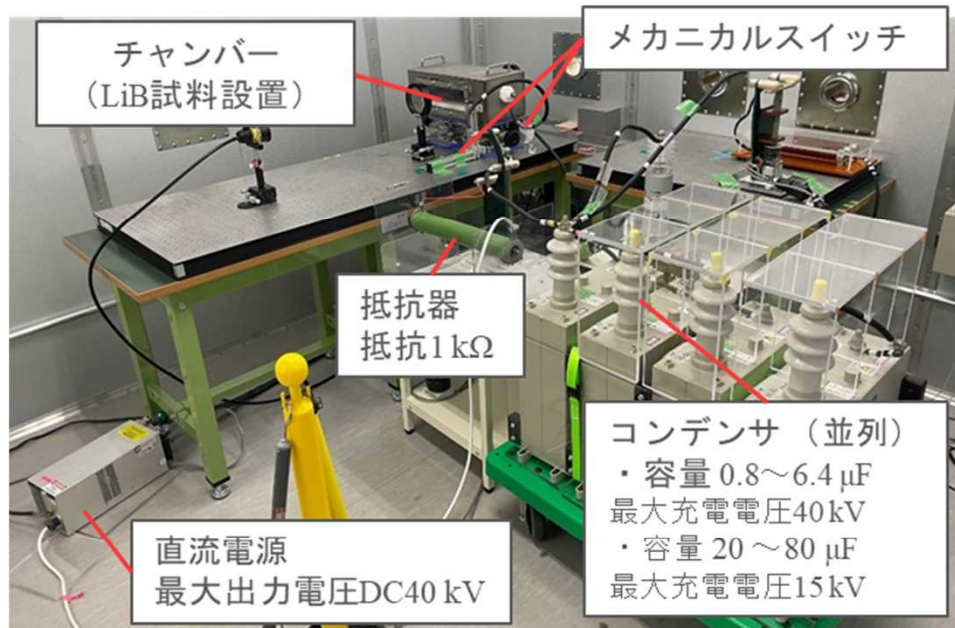
電気パルス刺激による分離現象発現への寄与



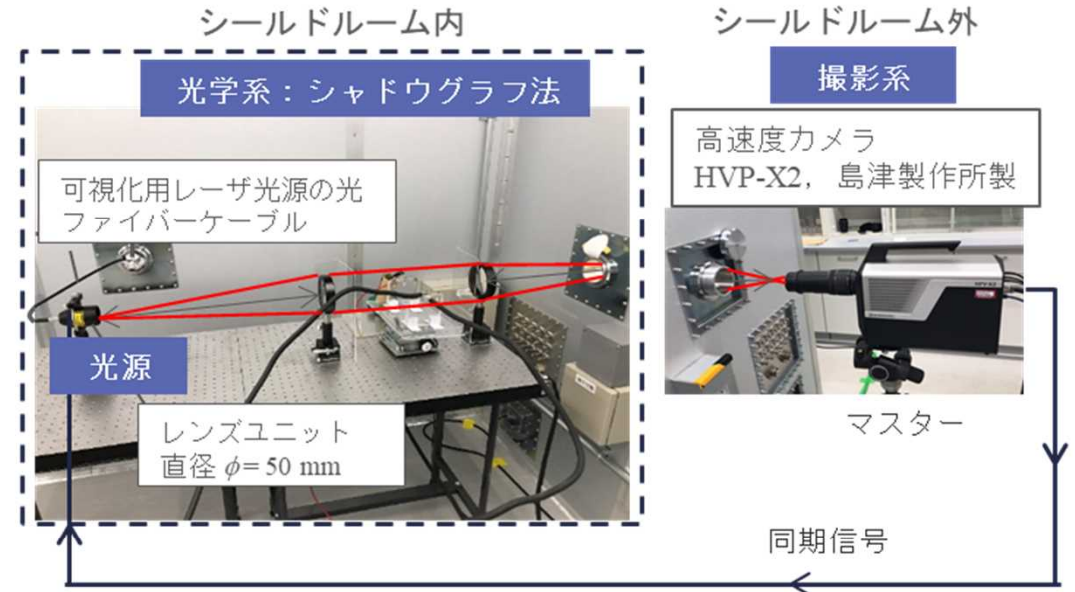


新規電気パルス法の技術開発

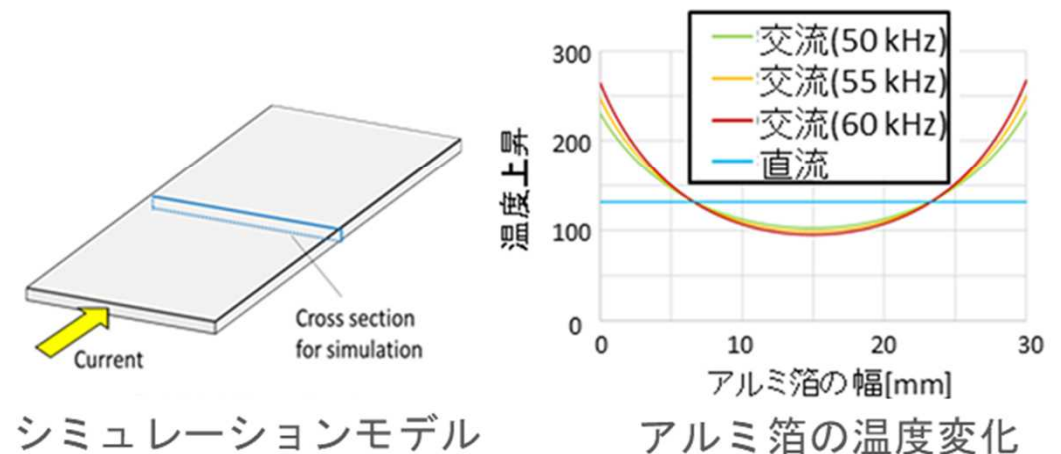
電気パルス装置の外観・回路図



光学的可視化手法



電磁界シミュレーションによる評価





早稲田大学
WASEDA University

LiB正極材の選択的な分離



液系LiBセル

解体



正極材捲回体

approx. 80 μm

正極材活物質粒子 (NCM+binder+C)

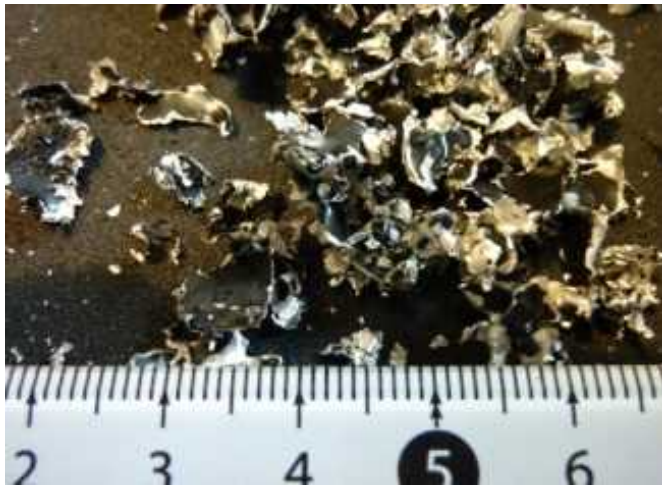
Al 集電箔 (約15 μm)

正極材活物質粒子 NCM+binder+C

機械的分離

従来の電気的分離

→箔状材料に対する選択的分離は困難

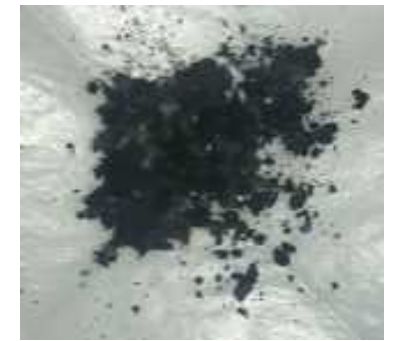


新規電気パルス法*

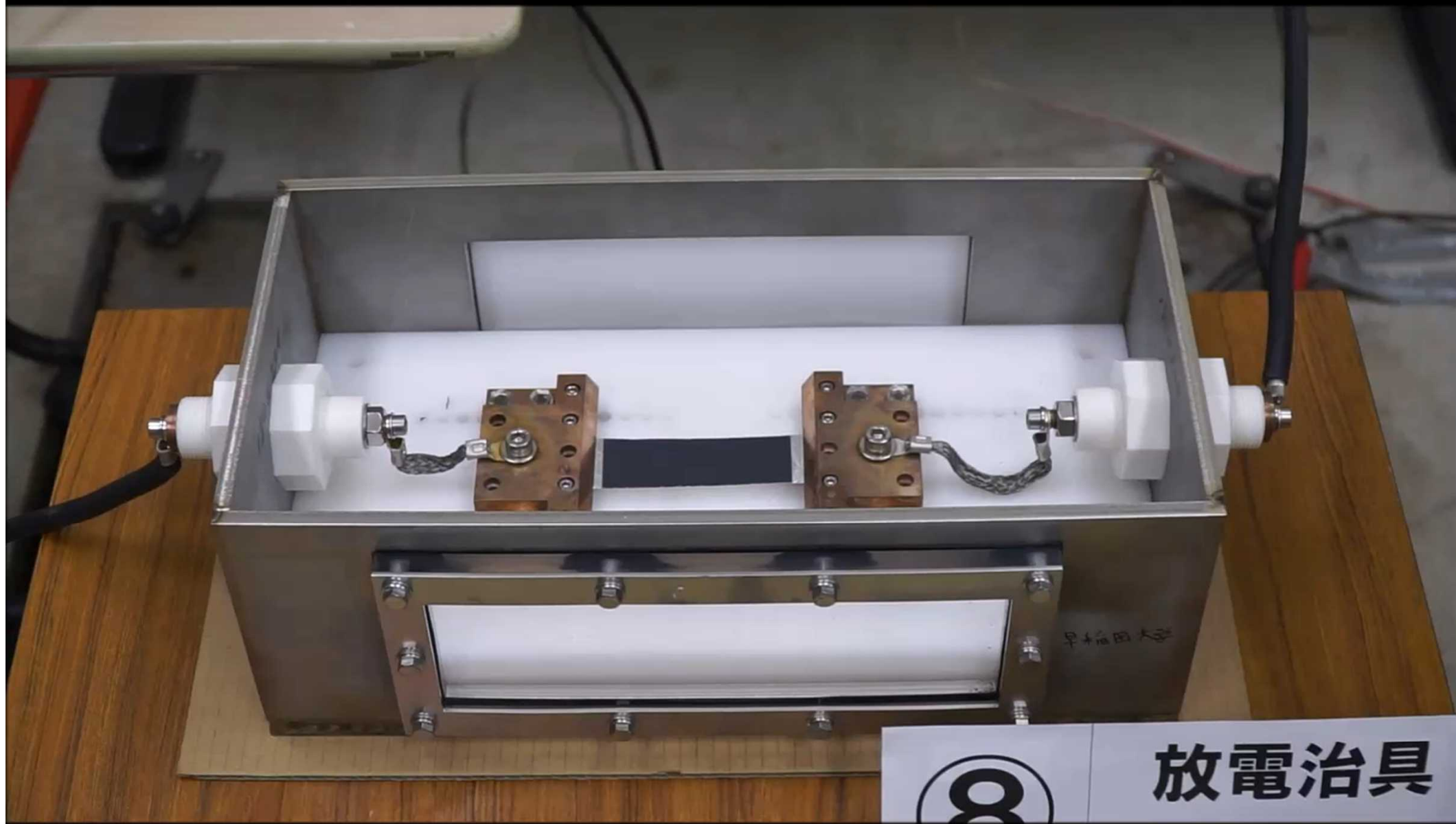
- Al集電箔への電気パルス照射
- ジュール熱による界面加熱
- + 表皮効果による界面への集中
- + 選択的プラズマ化による界面膨張
- + ローレンツ力によるAl箔の伸縮



Al集電箔



正極活物質粒子層

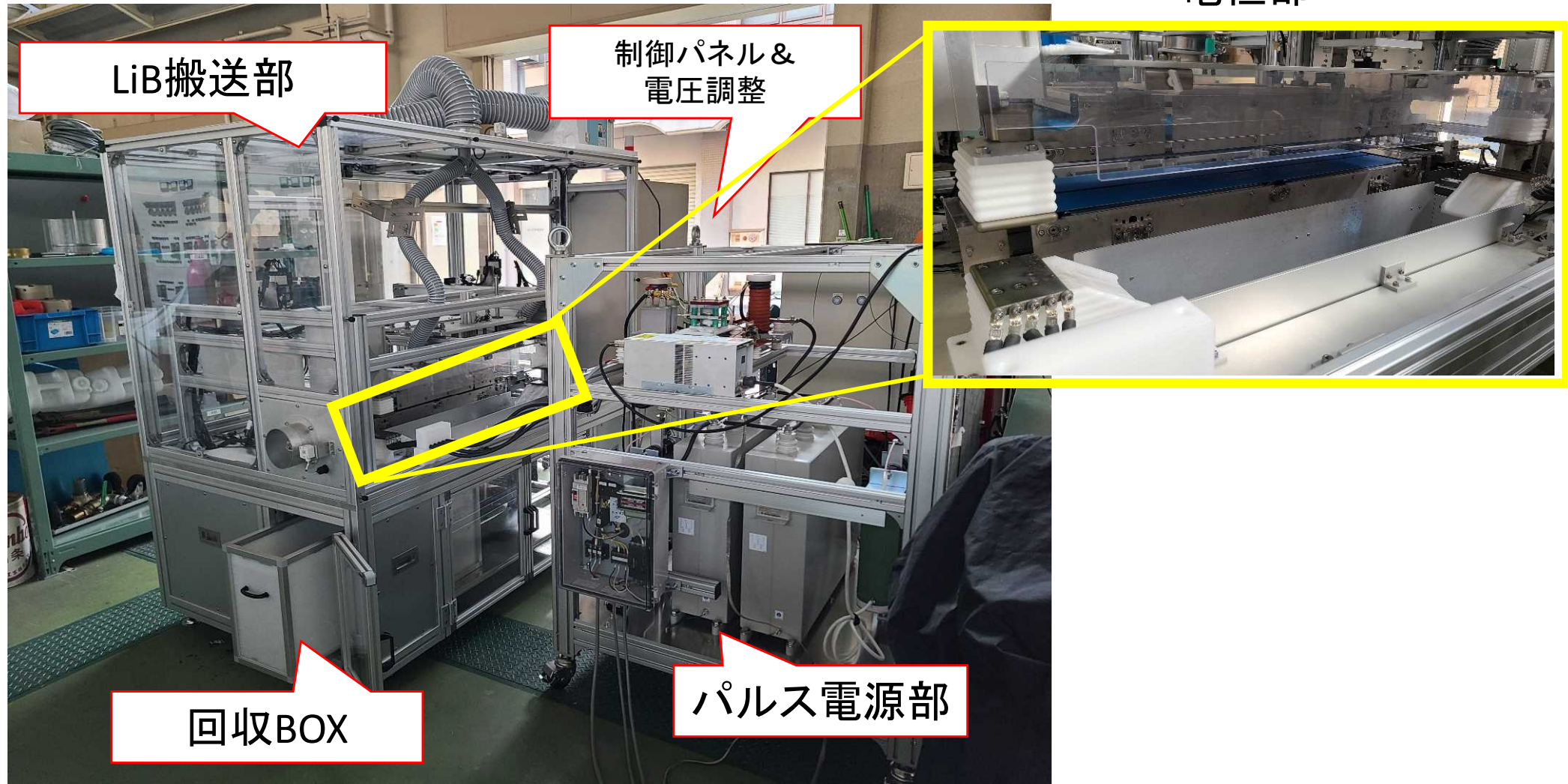




早稲田大学
WASEDA University

スケールアップへの挑戦

LiB正極搬送部 + パルス電源部 連動実証試験

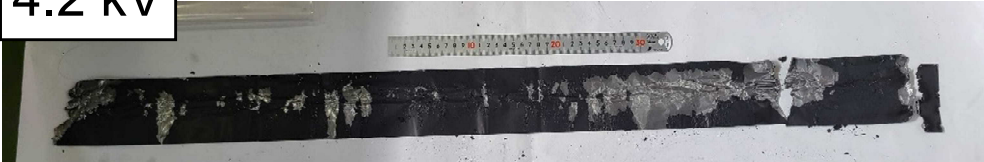




早稲田大学
WASEDA University

LiBパルス印加電圧依存性調査

4.2 kV



4.7 kV



4.3 kV



4.8 kV



4.4 kV



4.9 kV



4.5 kV



5.0 kV

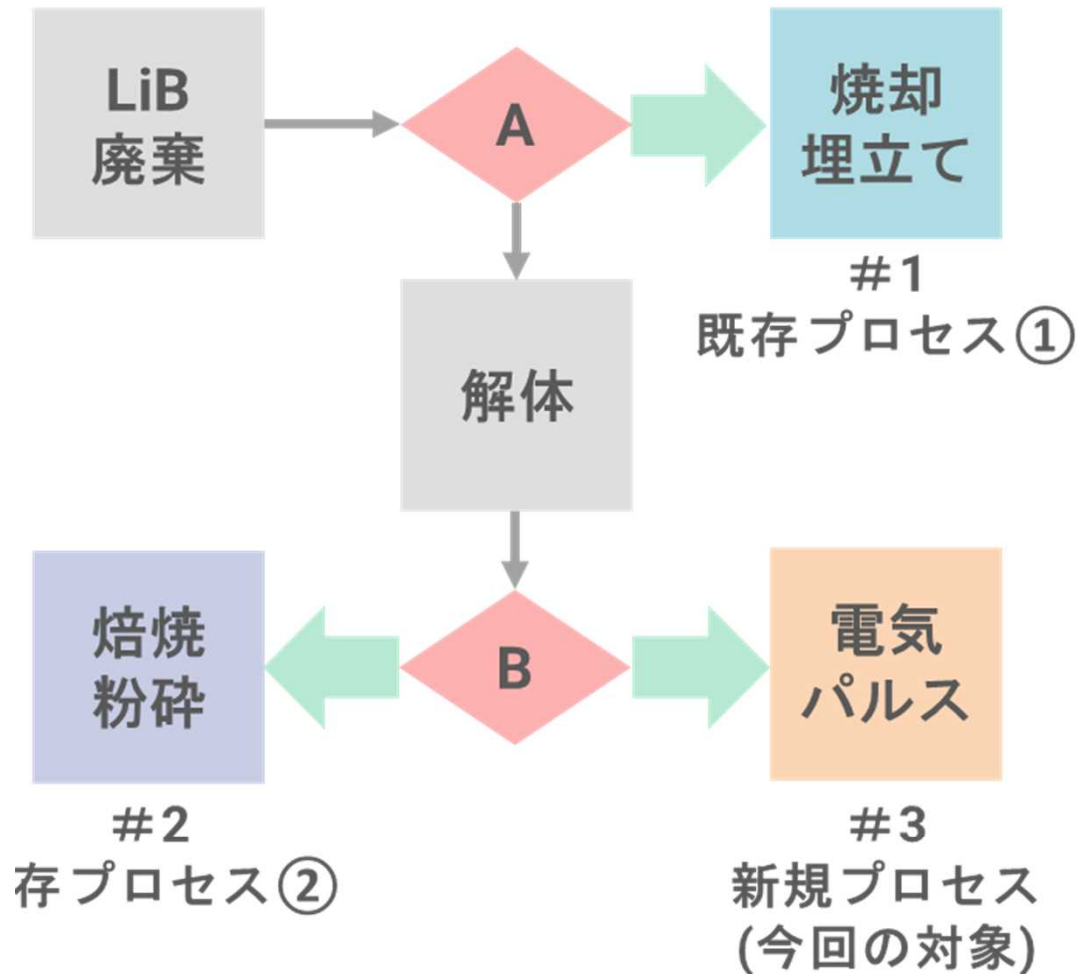


4.6 kV

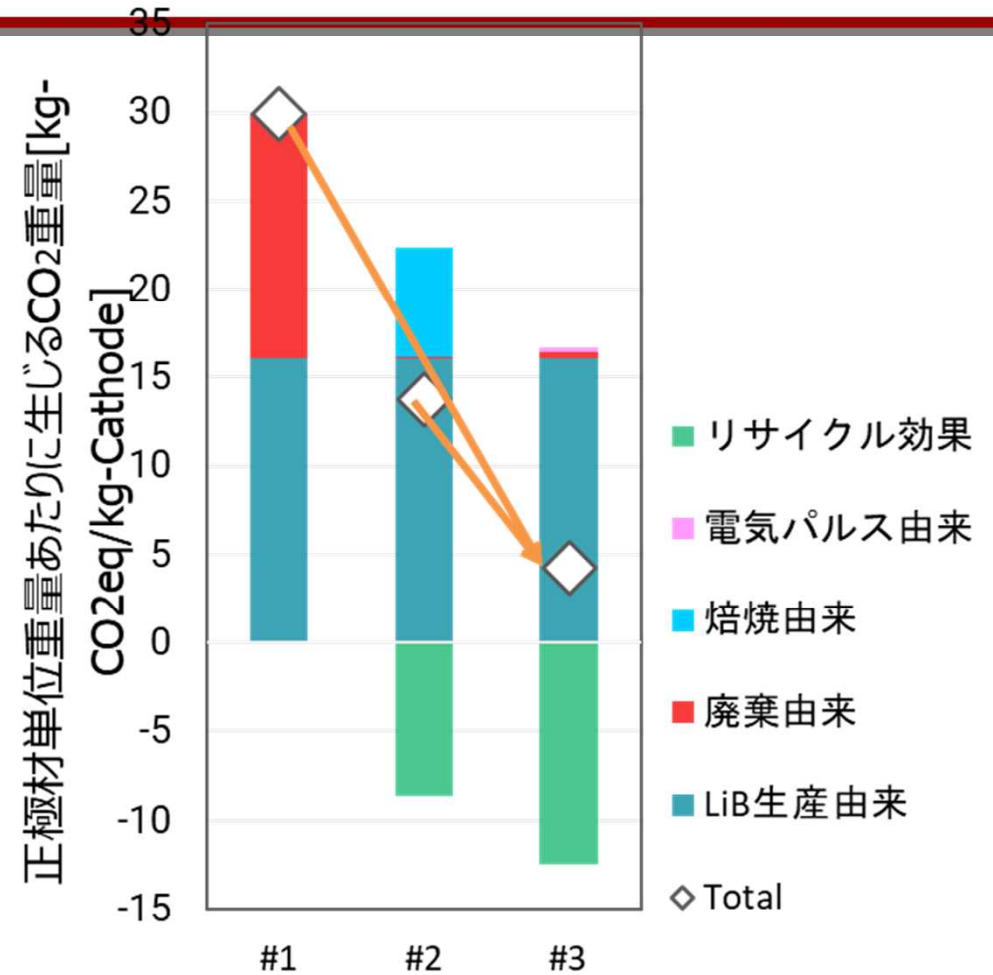




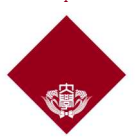
LCAによる新技術評価



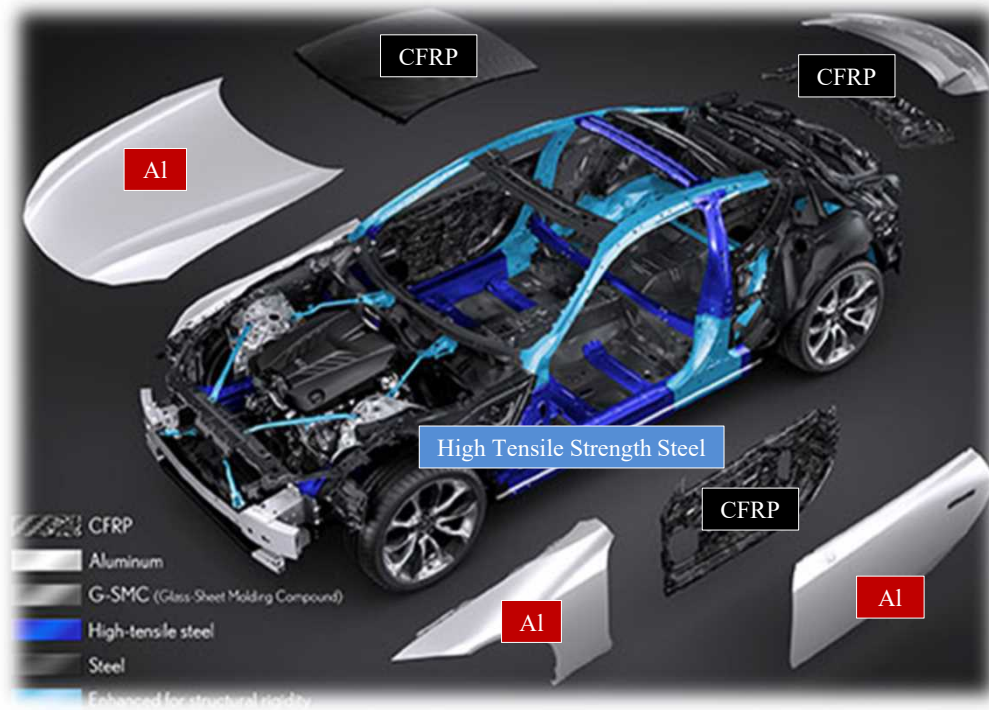
* Kikuchi, Y., et al. (2021). よりデータを再構成



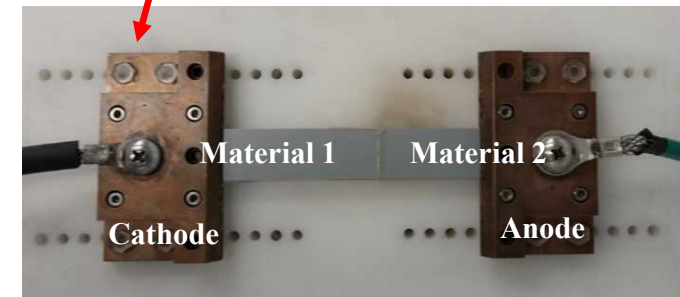
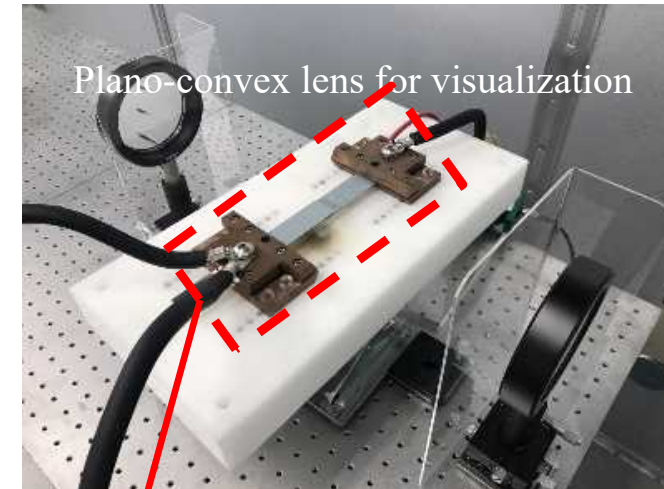
既存プロセスより#3(新規電気パルス法)がLCAから優位だと示された



軽量化に向けて 接着体の分離



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

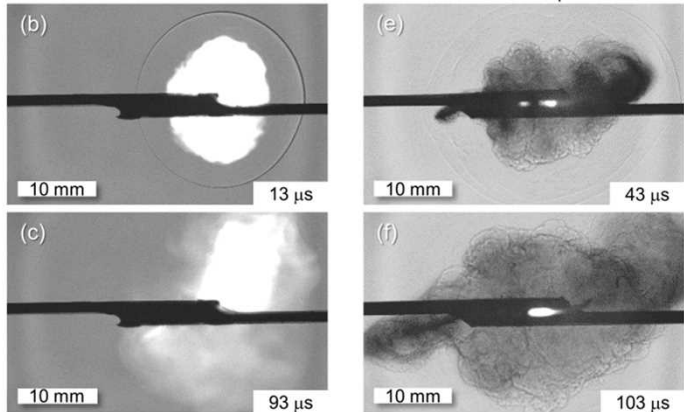
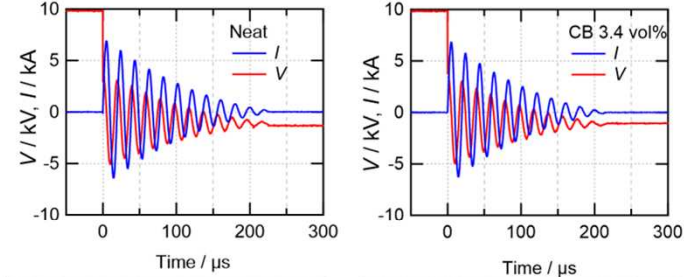
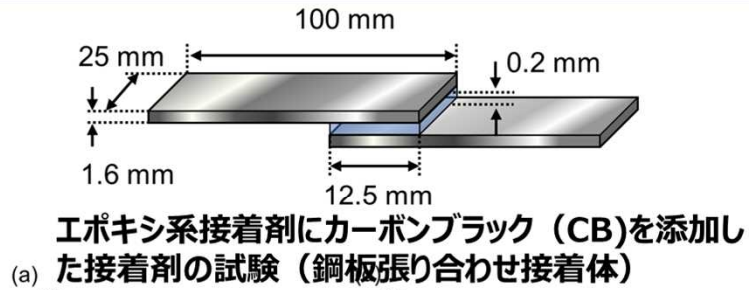


接着体の易解体
⇒ マルチマテリアル化におけるボトルネックの解消



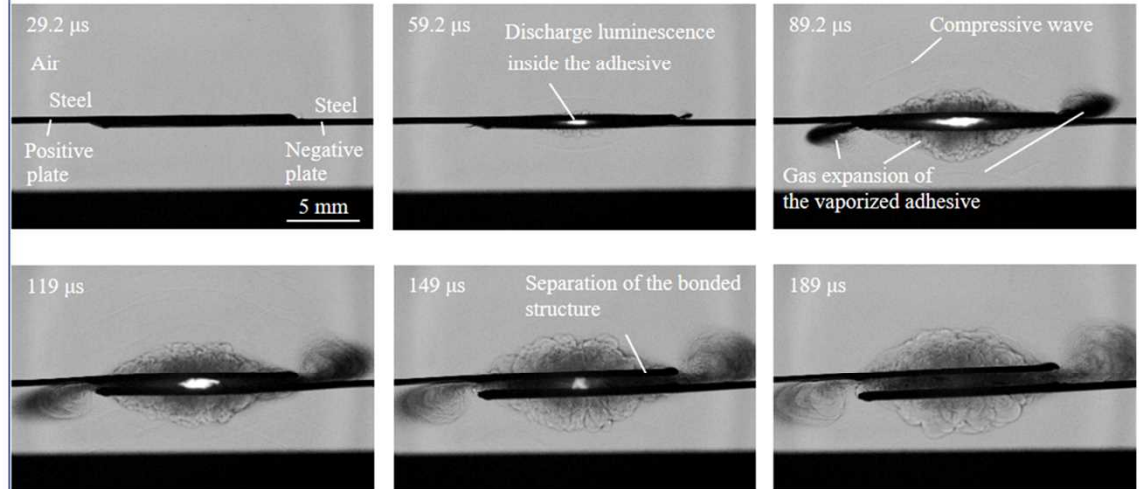
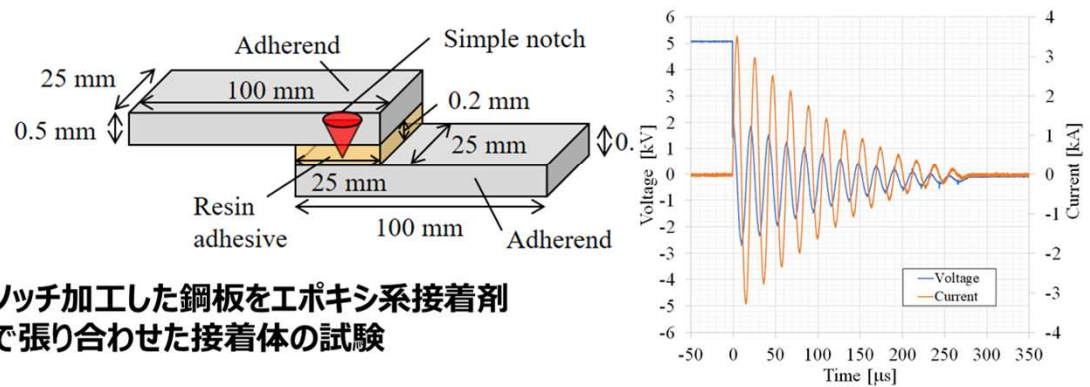
鋼板接着体の易解体を目指して

◆ フィラー添加接着剤



(a)-(c): CB無添加 エッジで放電が生じて影響を与えない
(d)-(f): CB3.4 vol%添加 放電を内部に誘導し接着強度を低下させることができる

◆ ノッチ加工接着体



ノッチ加工部に放電を誘導し、鋼板を分離することができる

正極側

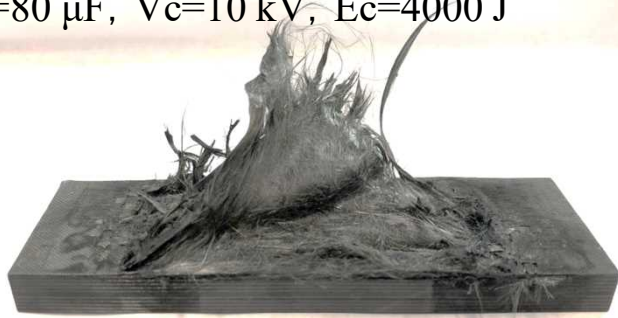
負極側



早稲田大学
WASEDA University

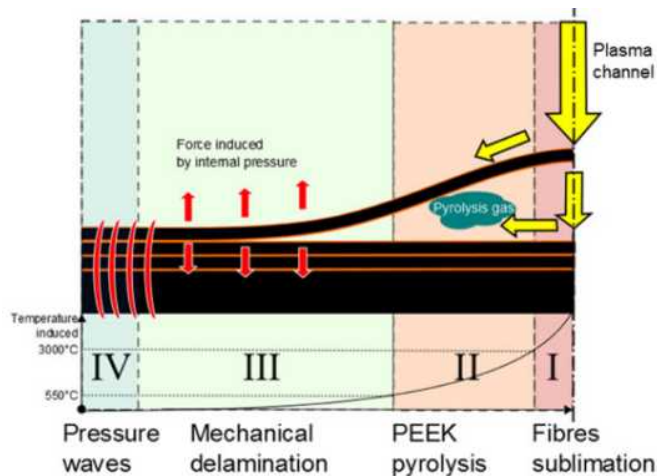
CFRPの易解体・分離を目指して

サイズ: 30 × 100 × 8 mm; クランプ電極
C=80 μ F, Vc=10 kV, Ec=4000 J



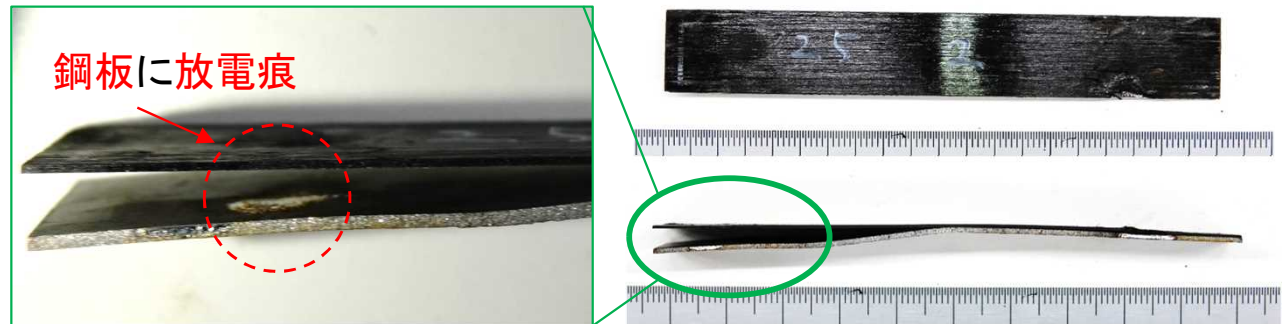
＜推定剥離機構＞

電気パルス時のマトリックスの熱膨張(ガス膨張)による層剥離

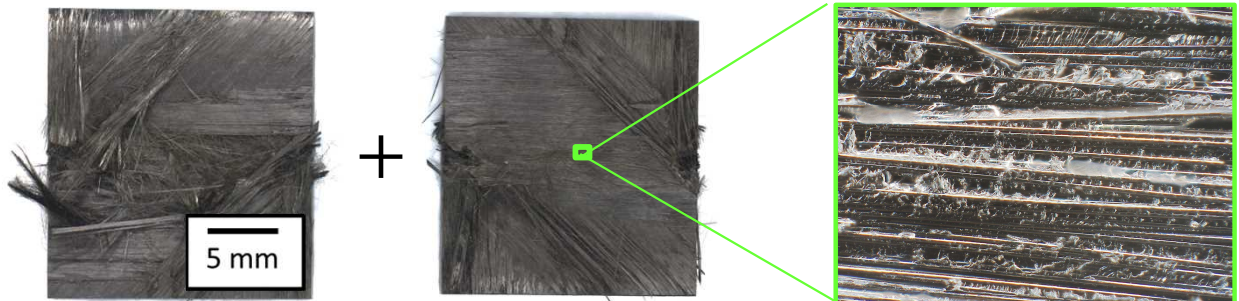


M. Roux, N. Eguémann, C. Dransfeld, F. Thiébaud, D. Perreux,
“Thermoplastic carbon fibre-reinforced polymer recycling with
electrodynamical fragmentation: From cradle to cradle”, Journal of
Thermoplastic Composite Materials, 30(3), pp. 381-403, (2017).

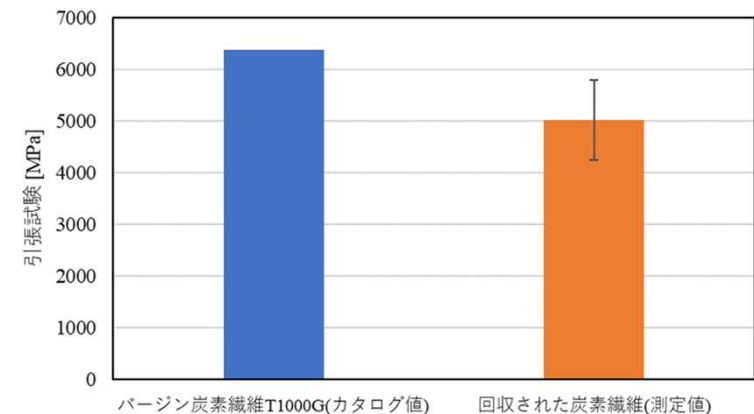
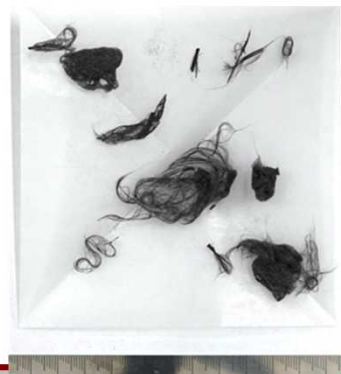
・CFRPと鋼板の分離



・CFRPの層間分離



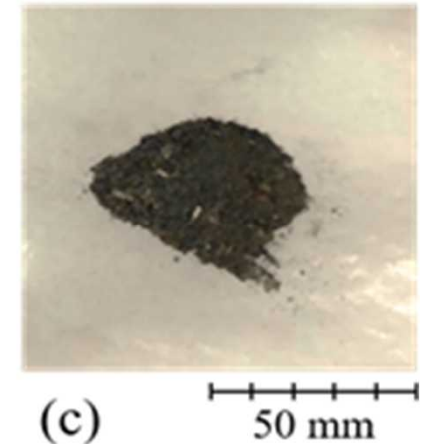
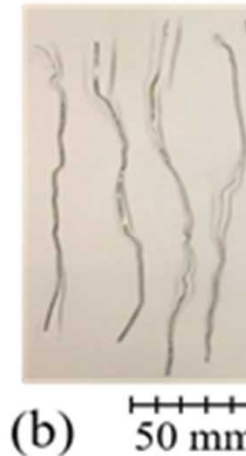
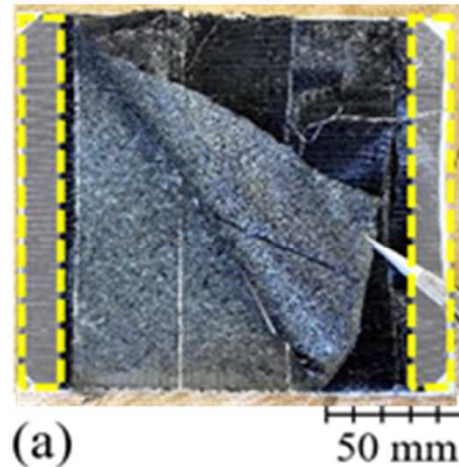
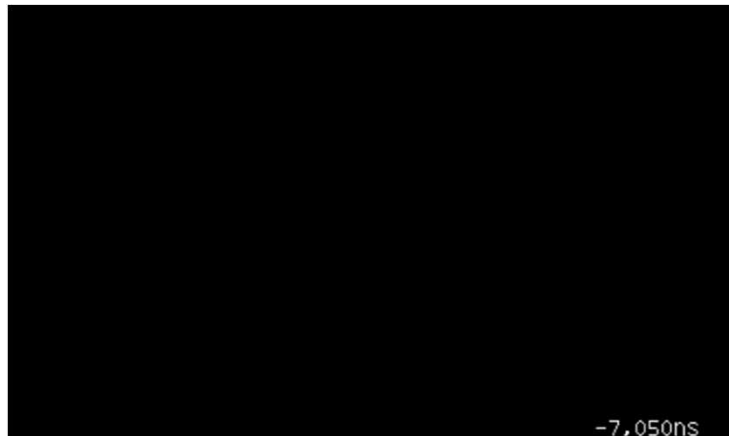
・CFRPから繊維の分離



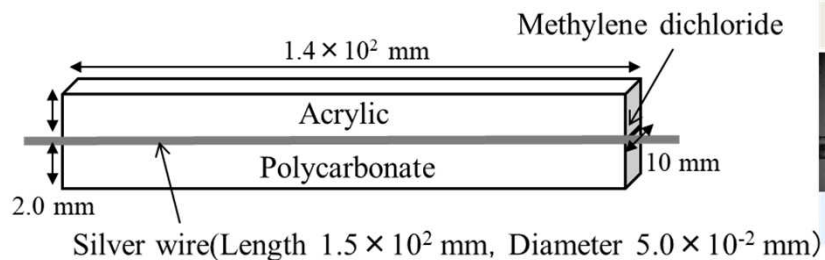


樹脂の易分離を目指して

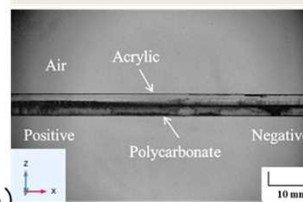
・樹脂中からの金属の分離(太陽光パネルセルシート)



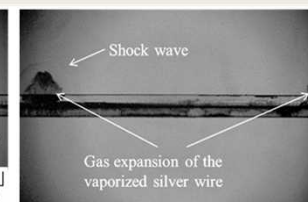
・細線爆発法を利用した樹脂同士の分離



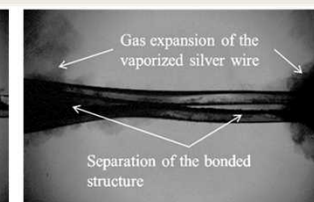
➢ 気化した銀線のガス膨張によって、異種樹脂接着体は分離されることが分かった



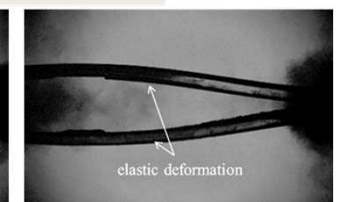
(a) $t = 3.53 \mu\text{s}$



(b) $t = 23.5 \mu\text{s}$

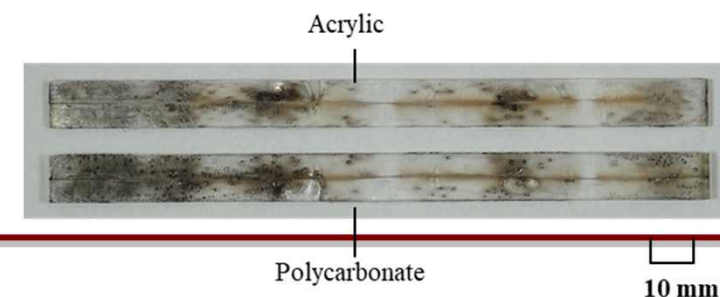
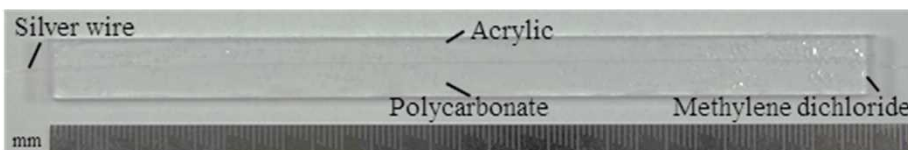


(c) $t = 254 \mu\text{s}$



(d) $t = 629 \mu\text{s}$

<可視化画像>



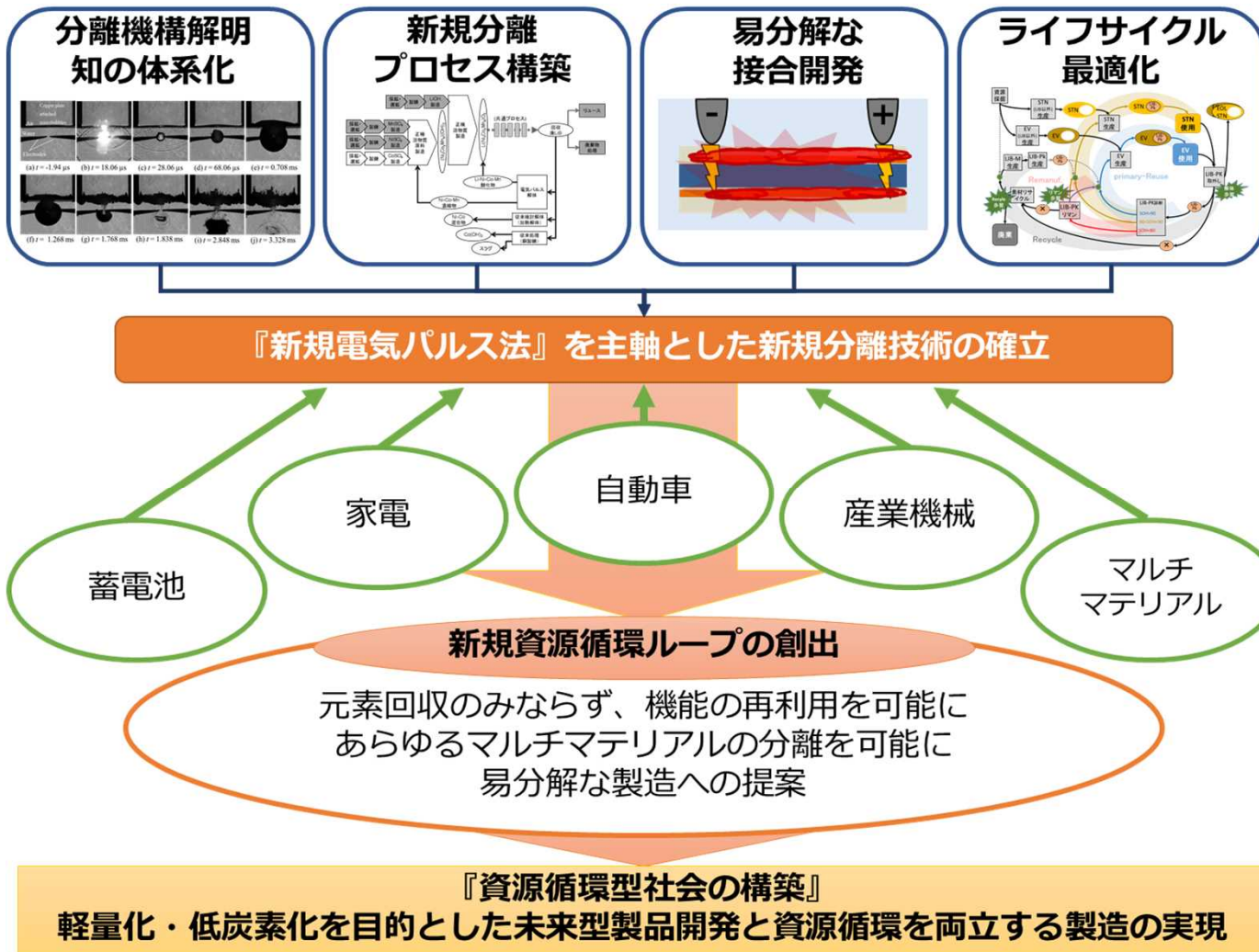


早稲田大学
WASEDA University

まとめにかえて：JST未来社会創造事業 新たな資源循環サイクルを可能とするものづくりプロセスの革新

本格研究 所課題

「製品ライフサイクル管理とそれを支える
革新的解体技術開発による統合循環生産システムの構築」



開発体制

早稲田大学

所 千晴
(研究代表)



小坂 丈敏



福重 真一



高田 祥三

熊本大学

浪平 隆男
(主たる共同研究者)



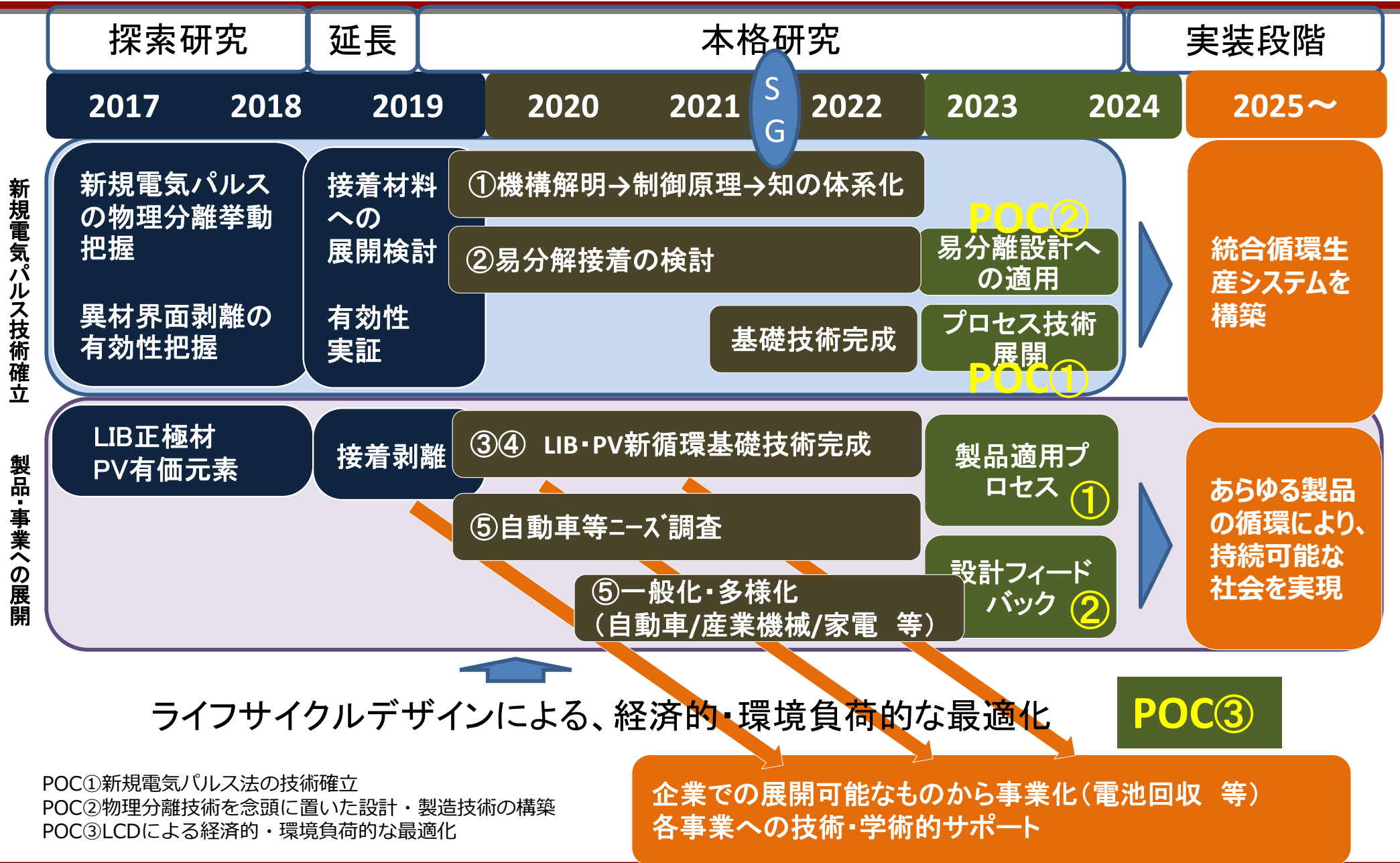
東京大学

菊池 康則
(主たる共同研究者)





まとめにかえて





Circular Value Chain コンソーシアム

CVCコンソーシアムの組織

