

# バイオプラスチック導入における ライフサイクル思考と課題

東京大学  
未来ビジョン研究センター

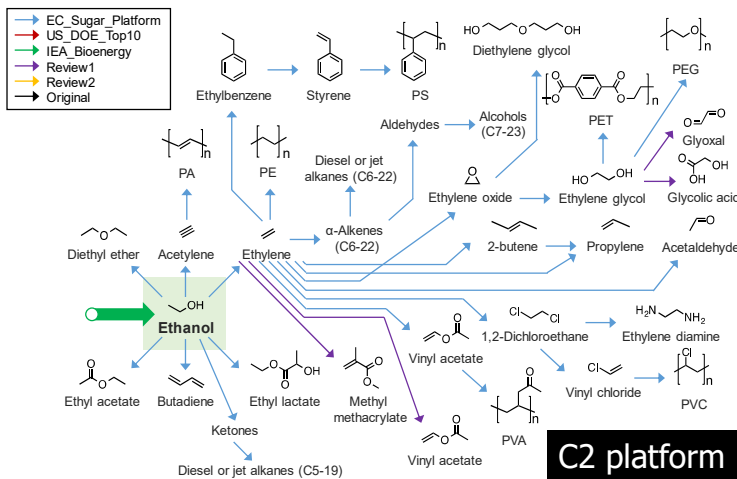
菊池 康紀

兼担：大学院工学系研究科化学システム工学専攻、兼務：「プラチナ社会」総括寄付講座  
ykikuchi@ifi.u-tokyo.ac.jp



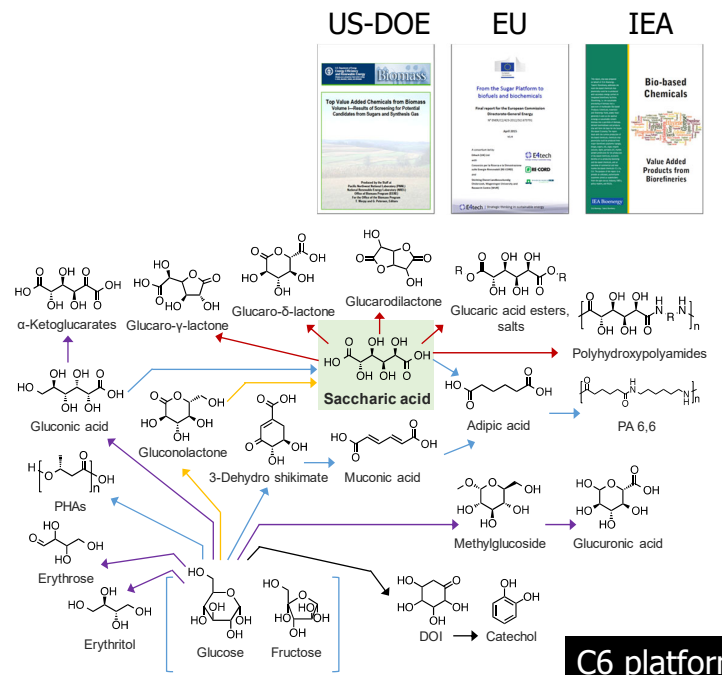
令和3年5月27日(木)

## バイオマス由来の化学合成

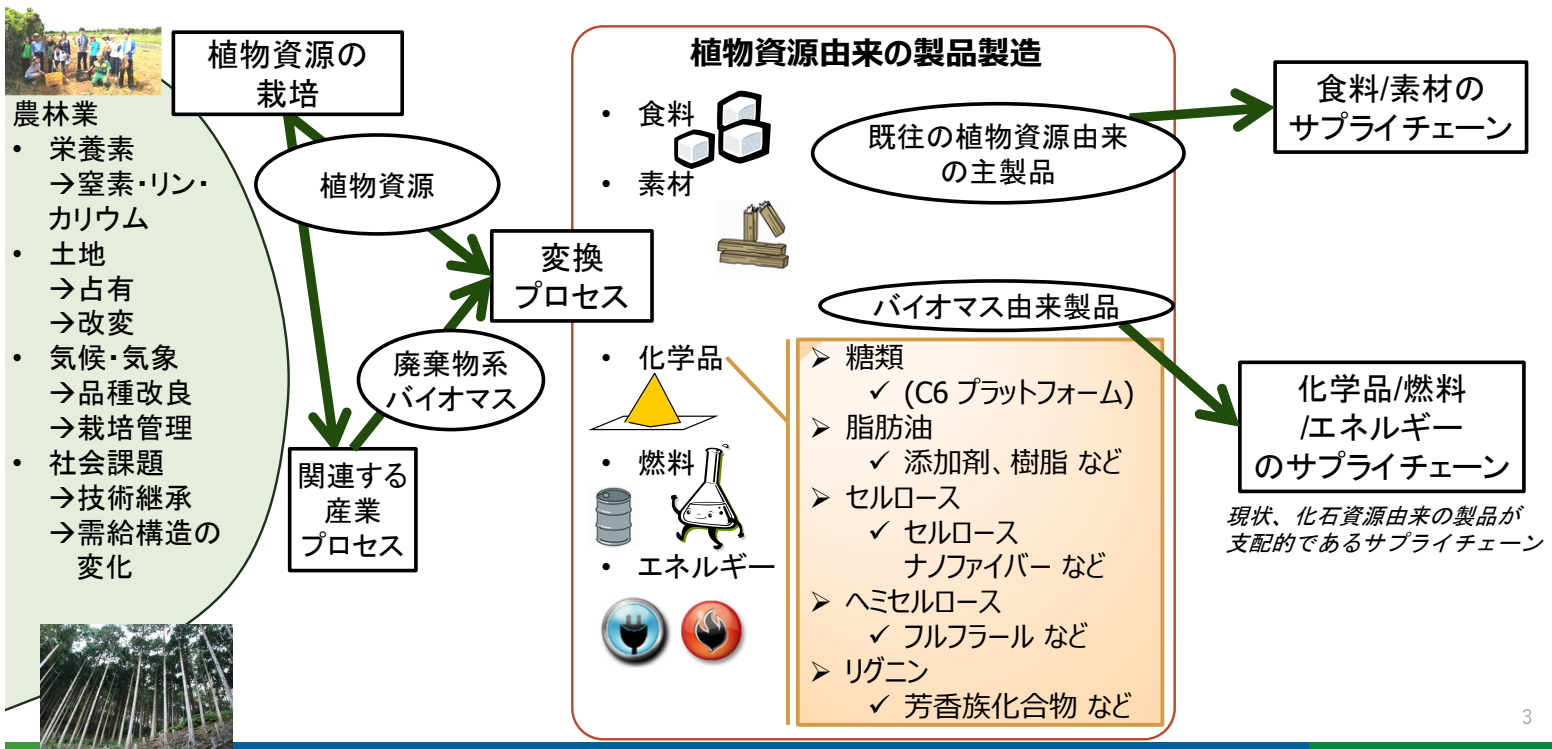


- 合成可能かどうかの分析は多くなされている
- “作ろう”と思えば(ほとんどの)物質は作れる
- どの製品を作るべきか、といった評価が必要

## ● バイオマス由来の合成経路の開発が進んでいる

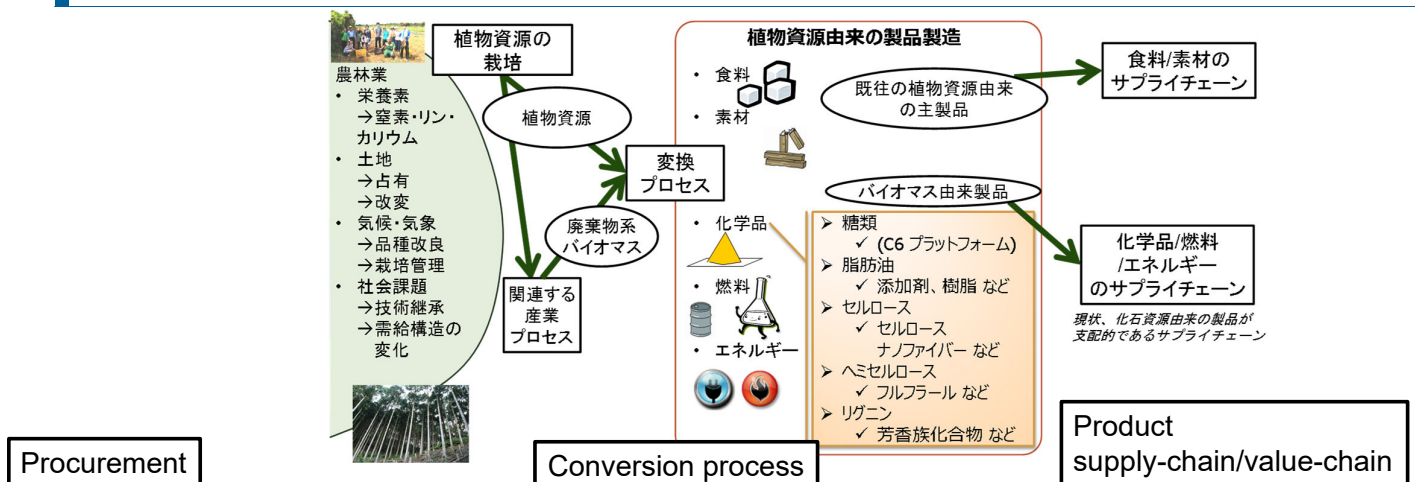


## 植物資源由来製品のライフサイクル



3

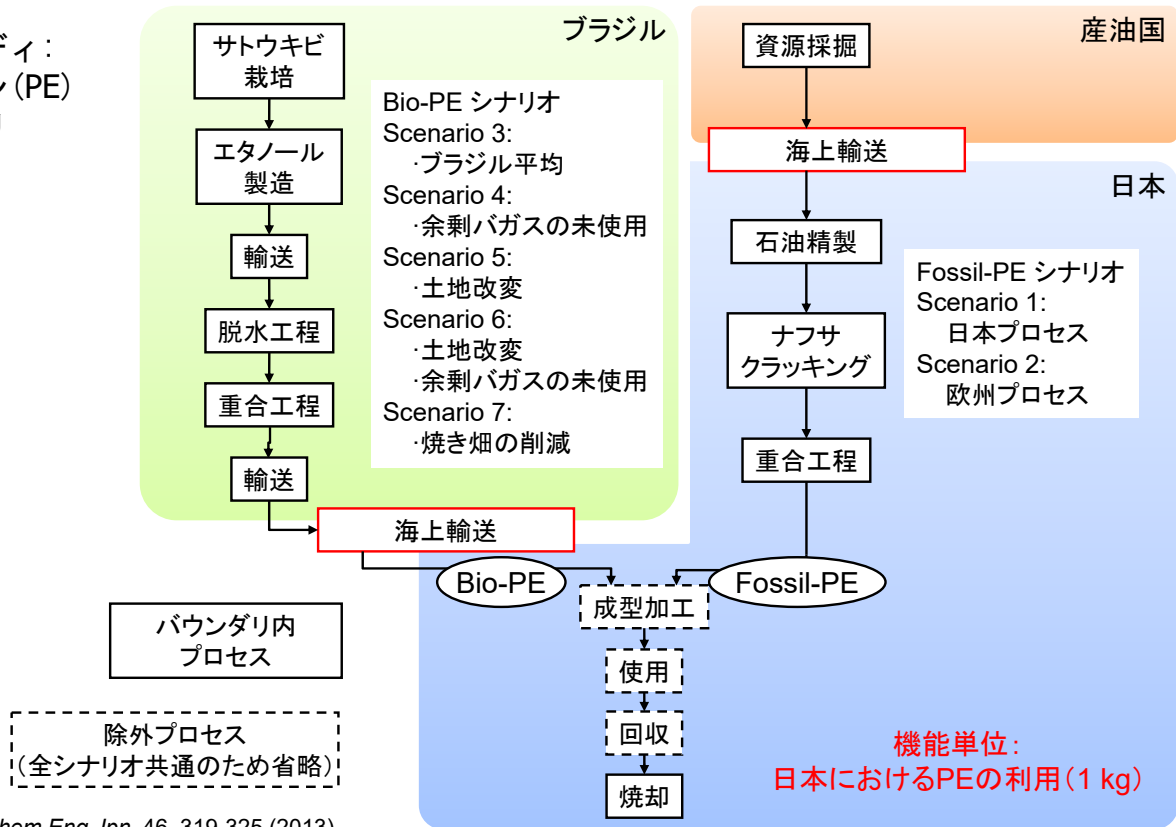
## 植物資源由来生産におけるライフサイクル思考



- 農林業の持続可能性
- 廃棄物資源の調達可能性
- 供給源における環境影響
  - ライフサイクルインパクトカテゴリー
  - Nexus of water, food, and energy
  - 土地利用・改変

4

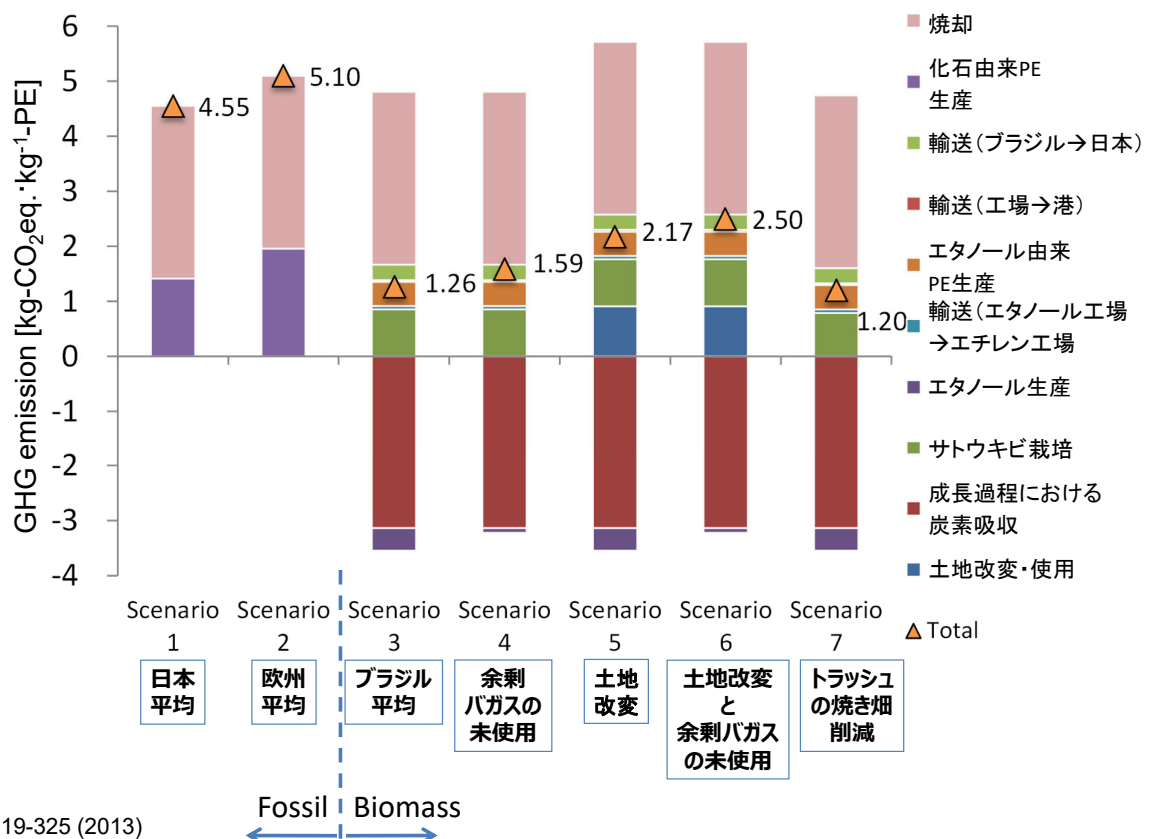
LCA  
ケーススタディ:  
ポリエチレン (PE)  
のバウンダリ



Kikuchi Y. et al. *J Chem Eng Jpn*, 46, 319-325 (2013)

LCA  
ケーススタディ:  
ポリエチレン (PE)  
のバウンダリ  
結果

- 農業における条件によってLCAの結果が変動する
  - 土地改変
  - 余剰バガスの利用
  - 営農操作 (トラッシュの焼き畑)
- 将来的な変化を予測した評価により結果の幅を確認



Kikuchi Y. et al. *J Chem Eng Jpn*, 46, 319-325 (2013)

## 農業における課題

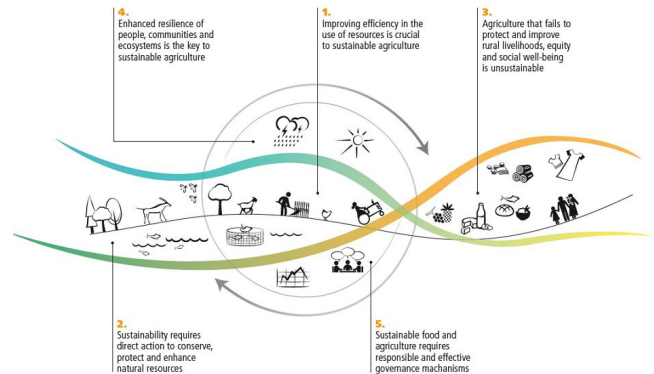
### ● 持続可能な食料生産と農業 (<http://www.fao.org/sustainability/en/>)

- ✓ 資源消費効率の改善; 天然資源の保全、保護、強化のための行動; 農村の生計、公平性、社会的幸福の保護と改善; 人々、コミュニティ、生態系の回復力の強化; 責任ある効果的なガバナンス・メカニズム

### ● 多様な環境影響に関する懸念

#### ➢ Agriculture: The last unregulated source

- Schnoor, Environ. Sci. Technol., 2014
- 施肥と負荷物質の排出
  - e.g., Cui et al., Environ. Sci. Technol., 2014
- リンの土壌中堆積
  - e.g., Matsubae et al., Chemosphere, 2011
- 栄養資源の持続可能性
  - e.g., UNES Year book, 2011



### ● 気候変動への適応

- e.g., A-PLAT, NIES

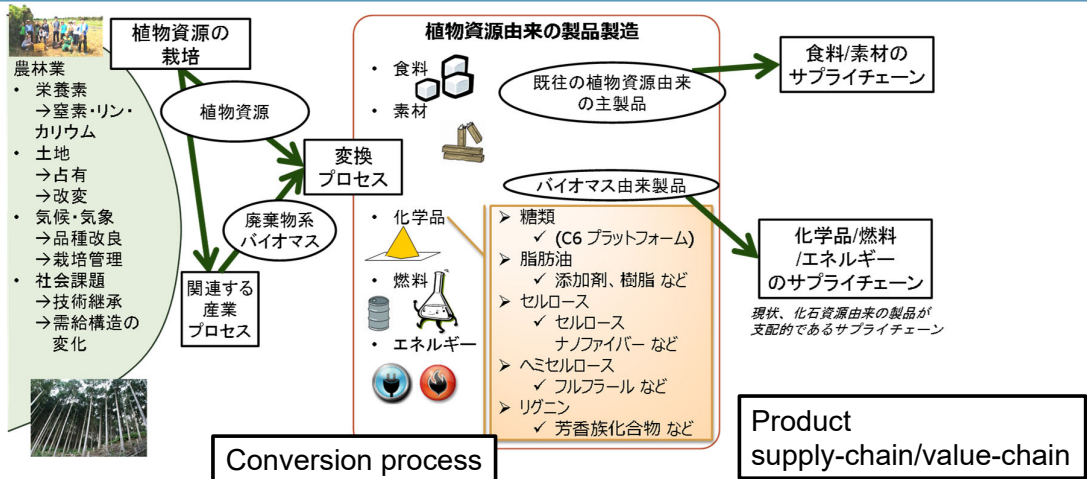


## 持続可能な森林管理へ



伐らなくても、伐り過ぎても持続不可能

# 植物資源由来生産におけるライフサイクル思考



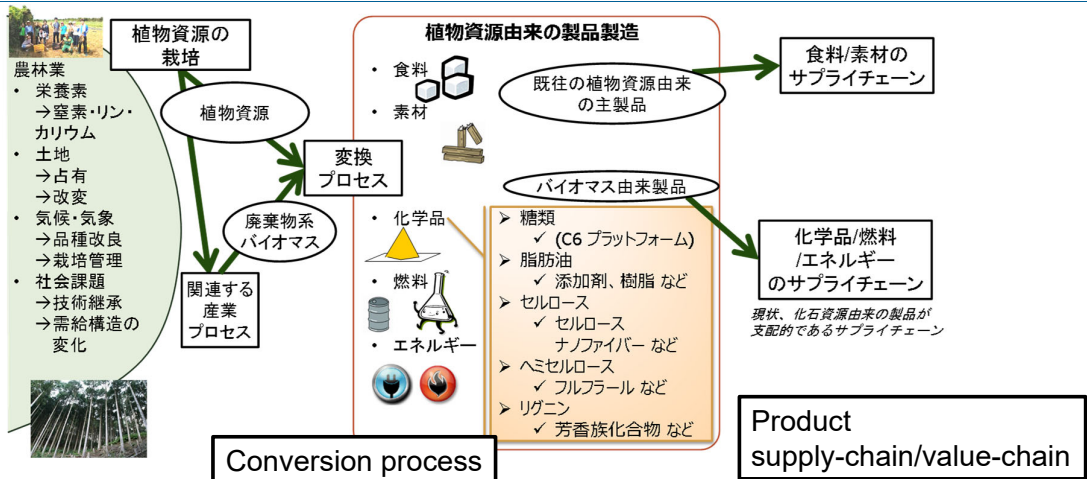
## Procurement

- 農林業の持続可能性
- 廃棄物資源の調達可能性
- 供給源における環境影響
  - ライフサイクルインパクトカテゴリ
  - Nexus of water, food, and energy
  - 土地利用・改変

## Conversion process

- 新規技術の詳細評価
  - 技術成熟度が技術により異なる
  - 既存の技術と将来性の比較
  - 技術開発へのフィードバック
- 大規模導入の前に先制的なプロセスシステム評価が必要

# 植物資源由来生産におけるライフサイクル思考



## Procurement

- 農林業の持続可能性
- 廃棄物資源の調達可能性
- 供給源における環境影響
  - ライフサイクルインパクトカテゴリ
  - Nexus of water, food, and energy
  - 土地利用・改変

## Conversion process

- 新規技術の詳細評価
  - 技術成熟度が技術により異なる
  - 既存の技術と将来性の比較
  - 技術開発へのフィードバック
- 大規模導入の前に先制的なプロセスシステム評価が必要

## Product supply-chain/value-chain

- 社会経済構造における波及的影響の把握
  - 経済の循環
  - 物と価値の流れの可視化
- バイオマス由来で生産すべき製品の地域性
- 廃棄物処理・リサイクル

# プラスチックの使い方の多様化： 複層化・軽量化・マルチマテリアル化が進む

- 複数の材料を組み合わせる素材とし、製品を生産
  - 繊維強化樹脂（例 セルローズナノファイバー強化樹脂による金属代替と軽量化）
  - 複層化による匂い等の封じ込め
  - 金属と樹脂の接着組み合わせによる加工性能の工場
- 作るときは製品の機能に合わせた”要求仕様”を目指して技術開発・材料組み合わせ

部材名	主要樹脂	CNF複合比率	成形加工法	事業担当者
1 ドアアウターパネル	PP (ポリプロピレン)	10%	射出成形	トヨタ紡織
2 ドアトリム	PP	10%	射出成形	トヨタ紡織
3 ルーフパネル	PC (ポリカーボネート)	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本
4 バックドアガラス	PC	15%	射出圧縮成形	トヨタ自動車東日本
5 ボンネット	CNF	100%	加熱加圧成形+真空バッグ成形	利昌工業
6 リアスポイラー	PP	10%	ブロー成形	キョーラク
7 フロントアンダーカバー	PP	10%	ブロー成形	キョーラク
8 バケツレフトカバー	PP	10%	射出成形	イノアック
9 フロントバンパーサイド	PA6	10%	積層造形 (3Dプリンター)	京都大学
10 ホールフィン	PA6	10%	積層造形 (3Dプリンター)	京都大学
11 ルーフサイドレール	CNF	100%	CNFシート巻き付け	昭和丸島/昭和プロダクツ
12 フロア部材	EP (エポキシ樹脂)	30~50%	RTM (Resin Transfer Molding)	金沢工業大学/TC/D
13 バッテリーキャリア	PP	20%	射出成形	トヨタ車体 (PJ外からの提供)



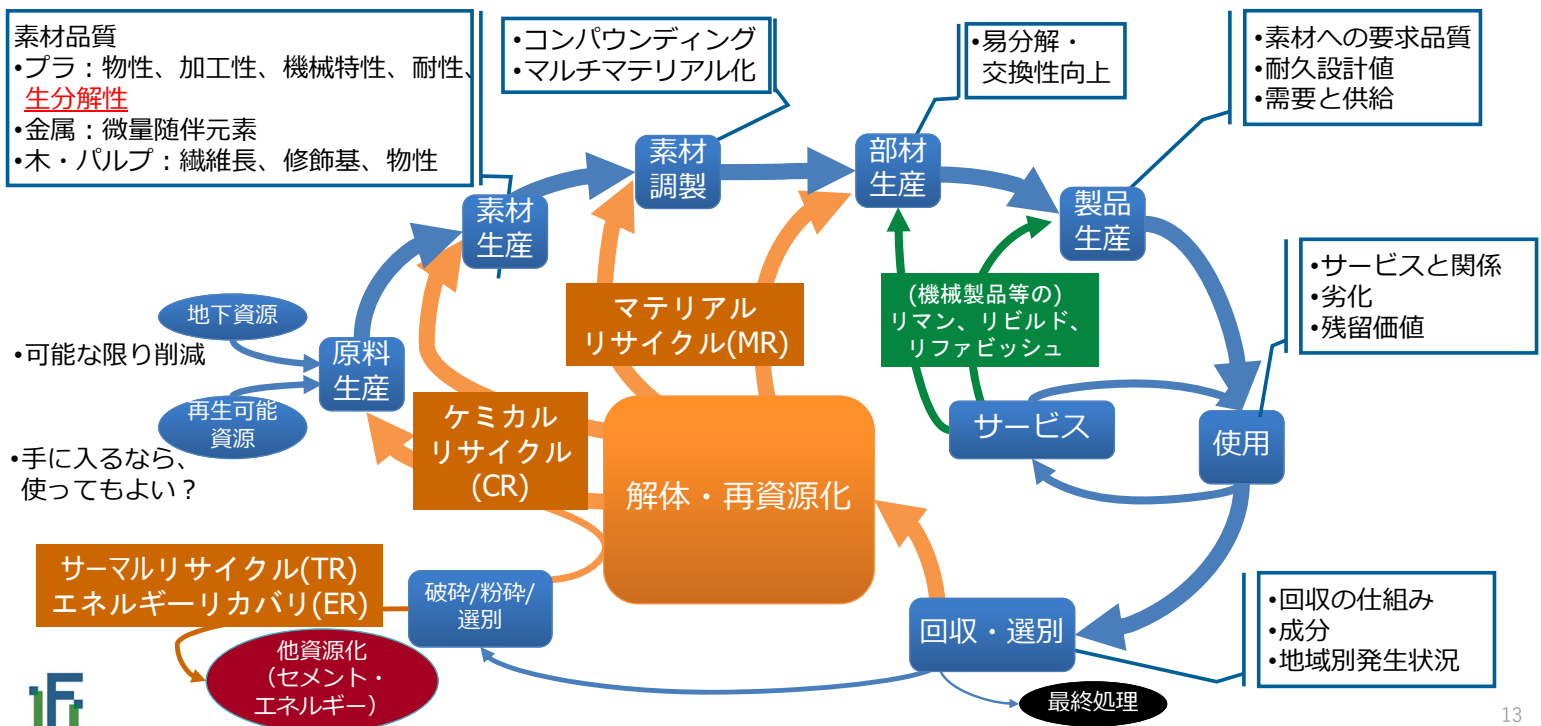
協力機関：NEDO

※CNF自動車部材の製作には、リグ/CNFプロジェクトの成果を活用しています



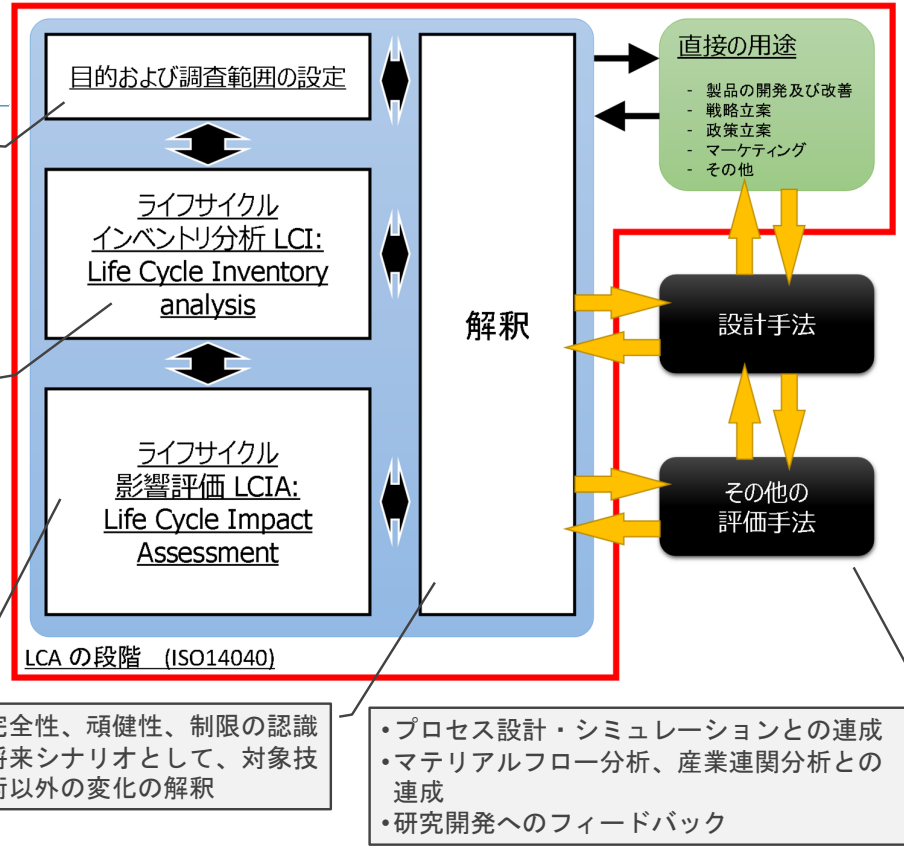
## 資源の循環のさせ方の違い → リサイクル手法の違い

※本スライドは簡単のため閉ループを想定



## LCAにおける観点

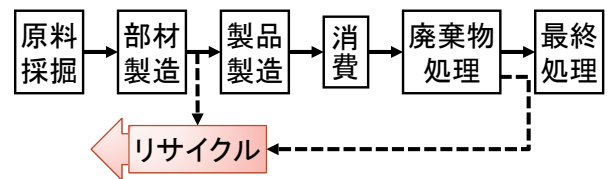
- バウンダリ：比較すべき範囲
  - 機能単位：比較されるべき機能
  - バイオプラにより何が代替されるか？
  - 原料生産の厳密性はどうか？
- データの完全性に関する困難さ
  - 技術の成熟度とインベントリの関係
  - 社会の他の要素による変化
  - 既存LCAデータベースでも数値が異なる (ecoinvent, IDEA, etc)
  - 実験・シミュレーションが持つ不確実性
  - 地域差の大きい農林業等原料生産プロセスのインベントリデータは得られているか？
  - そのデータの将来性は？
- 手法により異なるインパクトカテゴリ
  - 地球温暖化以外にも多くの環境影響があり、評価が必要
  - カテゴリも増えており、係数も変化
  - 何を目的とした導入か？(フィードストックカーボン、生分解性の付与、etc)



## まとめ：2050年に向かうプラスチック資源循環

→ カーボンニュートラルな社会の資源循環を支える技術・システムへ

- 何のためのバイオ由来・資源循環か、を評価の観点の中に組み込んだ目的の設定が重要
  - 化石消費を削減したいのか、温室効果ガス排出を削減したいのか、循環経済を実現したいのか、それは、いつの時点の話なのか、など
- 複数の評価手法を用いてバイオ由来生産・導入・循環システムの多面性を考慮することによる、実行可能性の観点を含めたシステムの設計へ
  - ライフサイクルアセスメント
    - ✓ 環境影響の定量化とプロセスシステムの選択
    - ✓ 原料調達、素材加工、リサイクルを通じて、逆効果にならないようなバイオ由来品の導入を検証
  - マテリアルフロー分析
    - ✓ プラント規模を推定
    - ✓ バイオマス資源の必要量を推定
    - ✓ 回収可能な製品や回収ルート of 絞り込み
  - 産業連関分析
    - ✓ バリューチェーンを可視化して関連する産業部門を特定 → 導入に向けたCo-learningへ



## ライフサイクルアセスメント(LCA)

- 一定のバウンダリ内における機能単位あたりの物・エネルギーの流れから環境負荷を算定
- 一般に、静的なフロー量に基づく評価

## マテリアルフロー分析(MFA)

- 一定のバウンダリ内における対象フローの流れを算定し可視化
- 動的な要因に基づく変化を分析可能

## 自己紹介：菊池康紀



### ● 略歴

- 2000年3月 福島県立会津高等学校卒業
- 2004年3月 東京大学工学部化学システム工学科卒業
- 2006年3月 同工学系研究科化学システム工学専攻 博士課程修了 博士（工学）
- 2009年4月 同専攻 助教
- 2011年7月-9月 スイス連邦工科大学チューリッヒ校 Academic Guest
- 2012年4月 東京大学総長室総括プロジェクト機構 特任講師
- 2015年10月 東京大学総長室総括プロジェクト機構 特任准教授
- 2018年4月 東京大学国際高等研究所 サステナビリティ学連携研究機構 准教授
- 2019年4月 東京大学未来ビジョン研究センター 准教授（組織改革）  
「プラチナ社会」総括寄付講座（代表兼務）  
工学系研究科化学システム工学専攻(兼担)

### ○ 兼任等

九州大学カーボンニュートラルエネルギー国際研究所、千葉大学環境健康フィールド科学センター、科学技術振興機構研究開発戦略センター、物質材料研究機構、東京工業大学物質理工学院

### ● 専門

**化学工学、プロセスシステム工学、ライフサイクル工学、知識の構造化、  
Transdisciplinary research**



化学工学  
+  
LCA  
+  
社会実装学

E-mail: [ykikuchi@ifi.u-tokyo.ac.jp](mailto:ykikuchi@ifi.u-tokyo.ac.jp)

#### 所属学会・委員会等

化学工学会、日本LCA学会、日本リスク研究学会、国際産業エコロジー学会、アメリカ化学工学会、UNEP IRP LCIA-WG  
日本学術振興会プロセスシステム工学第143委員会

