

2024年3月14日

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵技術研究会・報告会

エネルギー貯蔵システムを組み合わせた設計

東京大学 未来ビジョン研究センター 特任講師

藤井 祥万 (Shoma Fujii)

本務：未来ビジョン研究センター

兼任：大学院工学系研究科化学システム工学専攻

shoma.fujii@ifi.u-tokyo.ac.jp



東京大学未来ビジョン研究センター

Institute for Future Initiatives, The University of Tokyo

2023年9月4日 機械学会年次大会@東京

- 学会横断テーマ

- 「循環経済の実現に向けた機械工学の役割」

- 代表：早稲田大学・小野田教授
 - 講演1：東京大学・人工物工学研究センター・梅田靖教授
 - 講演2：東京大学・未来ビジョン研究センター・高村ゆかり教授

- 機械工学に”Climate neutrality”, ”Circular economy”, ”Nature positive” といったBig pictureを描ける？

当日投影のみ

nm~kmのシームレスな接続による先制的LC(ライフサイクル)設計評価手法の開発

③m~km：システム

LCA・産業連関分析等

Change in CO2 emissions (t-CO2/eq)

Zoelike flow rate (t/s)

シナリオ候補作成

	A	B	...	n
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×

ステークホルダーとの協議

- 行政、産業、金融 etc.

④先制的LC設計評価手法の確立

バックキャスト
目標到達には何が必要か

- ✓ TRLの低い段階の技術を「先制的」に評価するProspective LCA
- ✓ しかし技術情報は真に反映できているのか？

To be

Forecasting

As is

要件へフィードバック

環境・社会経済条件含めた評価

フォアキャスト
ビジョン達成？or
時間&達成度の乖離有り？

GHG削減量, 資源循環量, TRL etc.

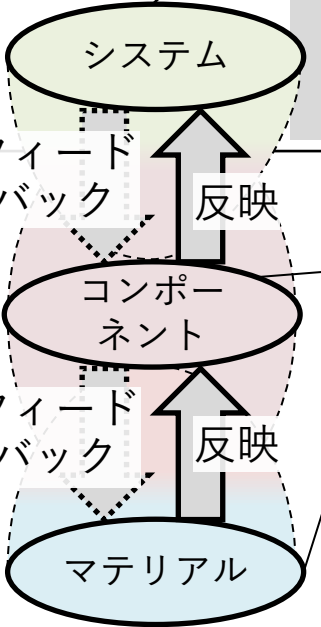
km

m

mm

nm

時間



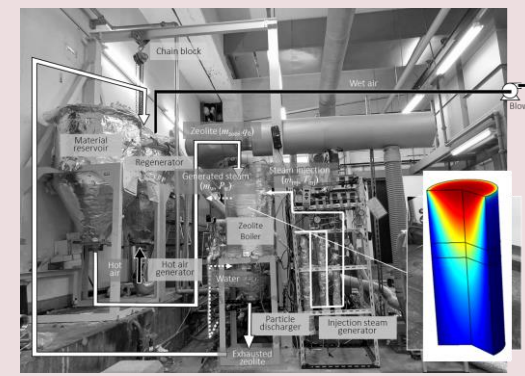
①nm~mm：マテリアル

平衡・速度論モデルの定義, 劣化

パラメータ

- カチオン種
- 結晶構造
- 屈曲度
- 空孔率
- 熱伝導率など

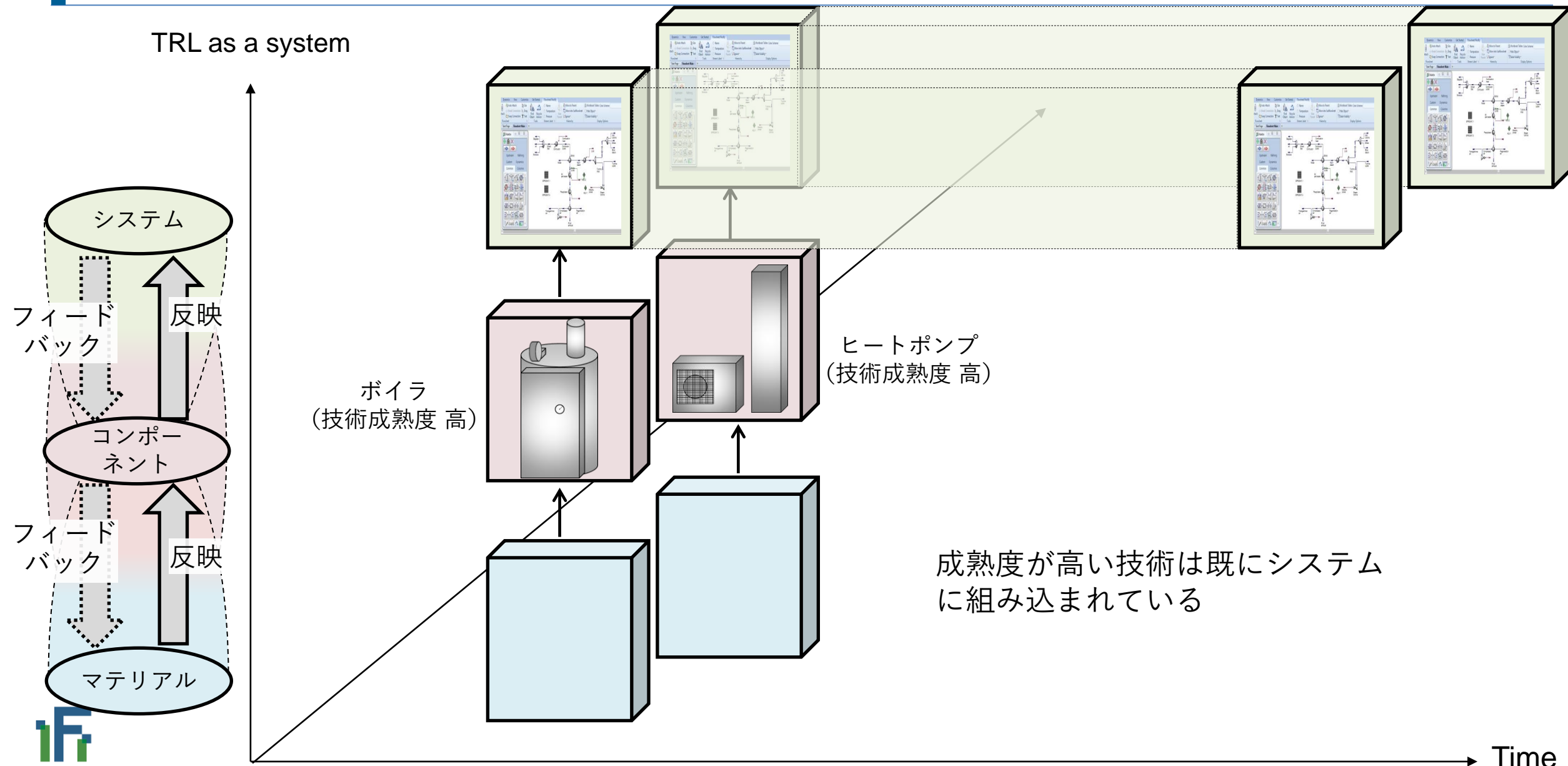
②mm~m：コンポーネント



- #### パラメータ
- 胴径
 - 熱交換器高さ
 - 給水流量
 - 給水圧力
 - 噴射蒸気流量
 - 投入吸着量など

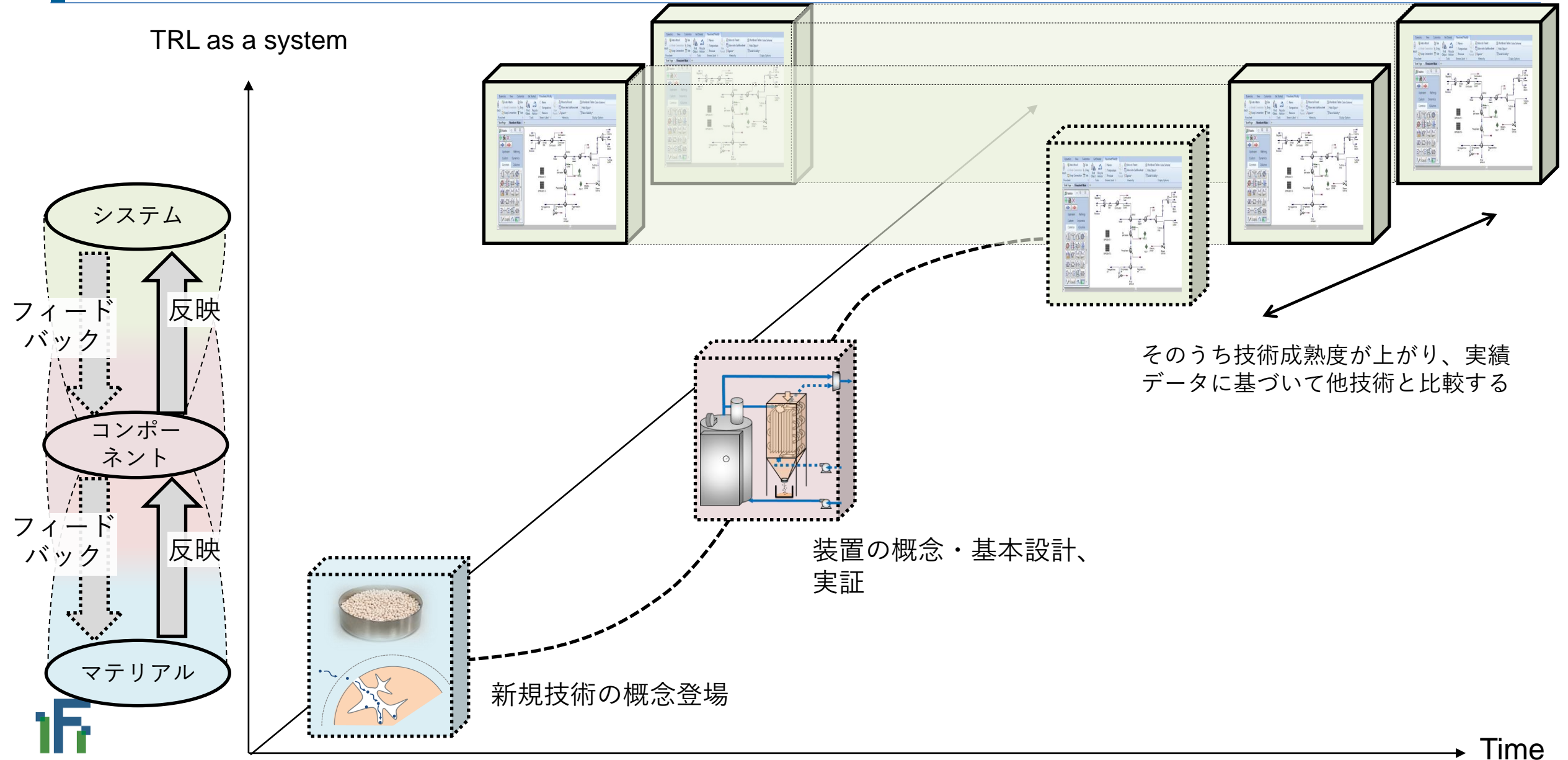
いつ新興技術を評価・設計するのか

TRL as a system



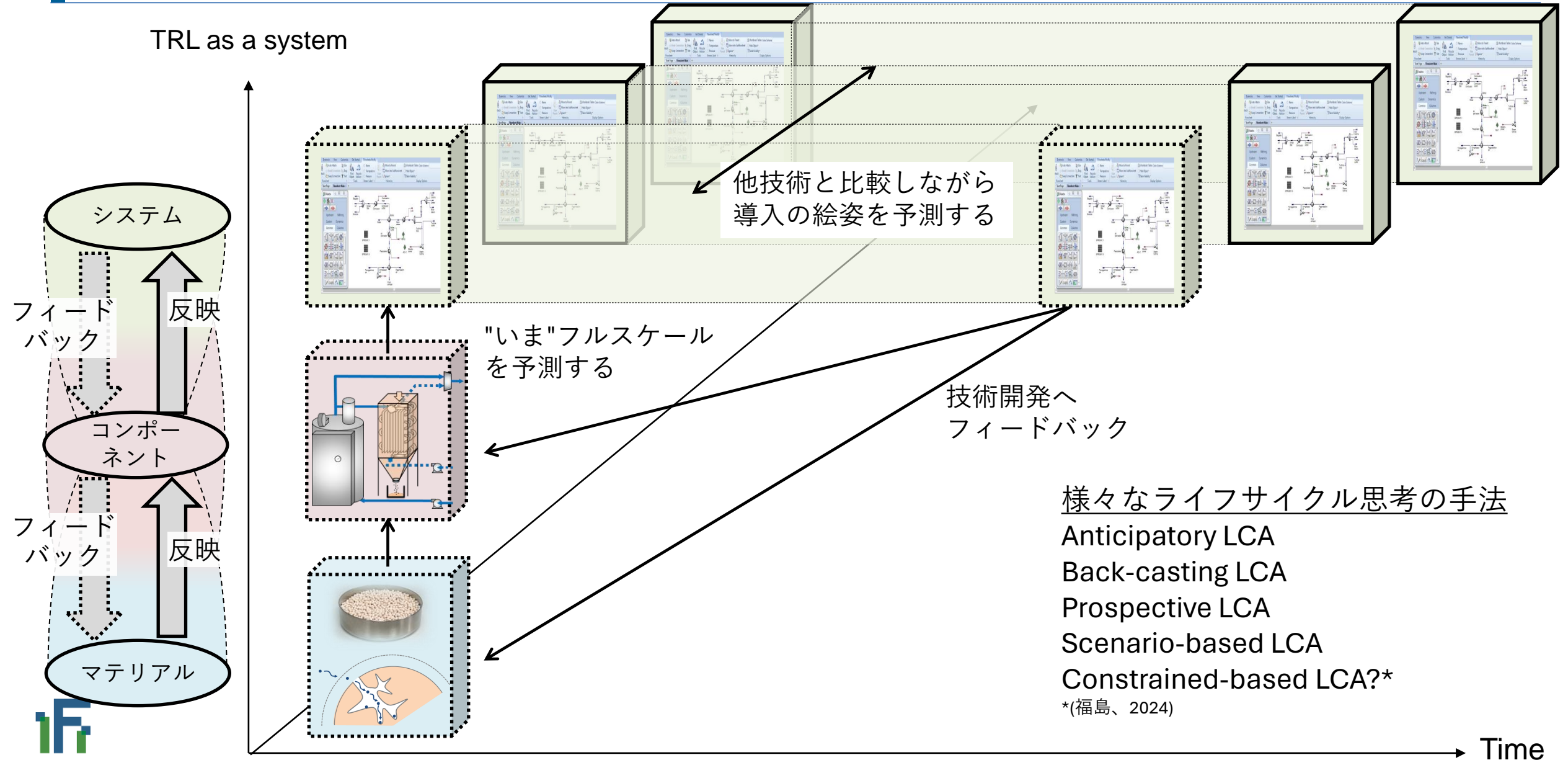
いつ新興技術を評価・設計するのか

TRL as a system

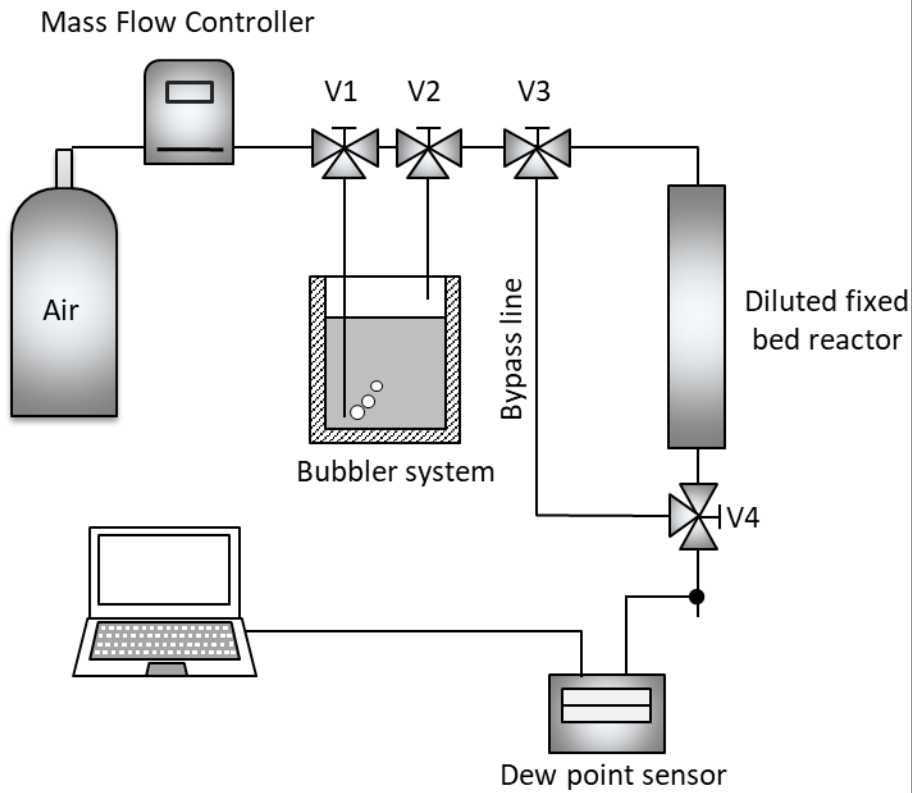


新興技術を“いま”評価・設計する、ライフサイクル思考による設計

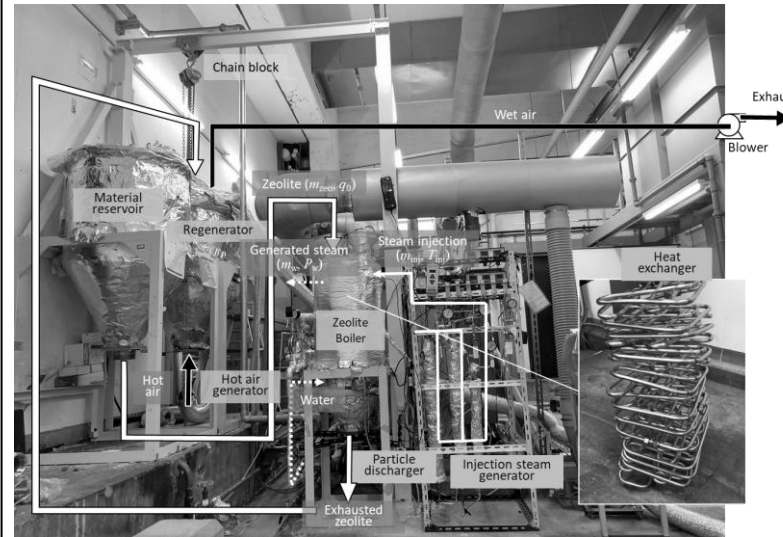
TRL as a system



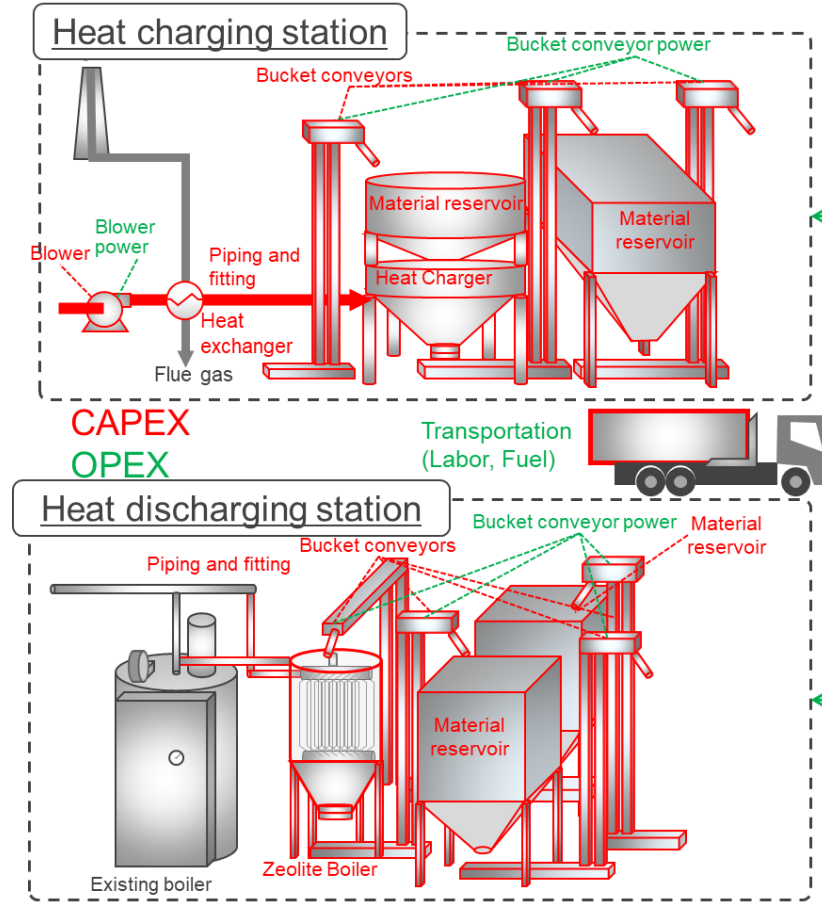
nm~kmの接続の重要性



リアクタースケール
熱回収率36%
nm~mmレベル



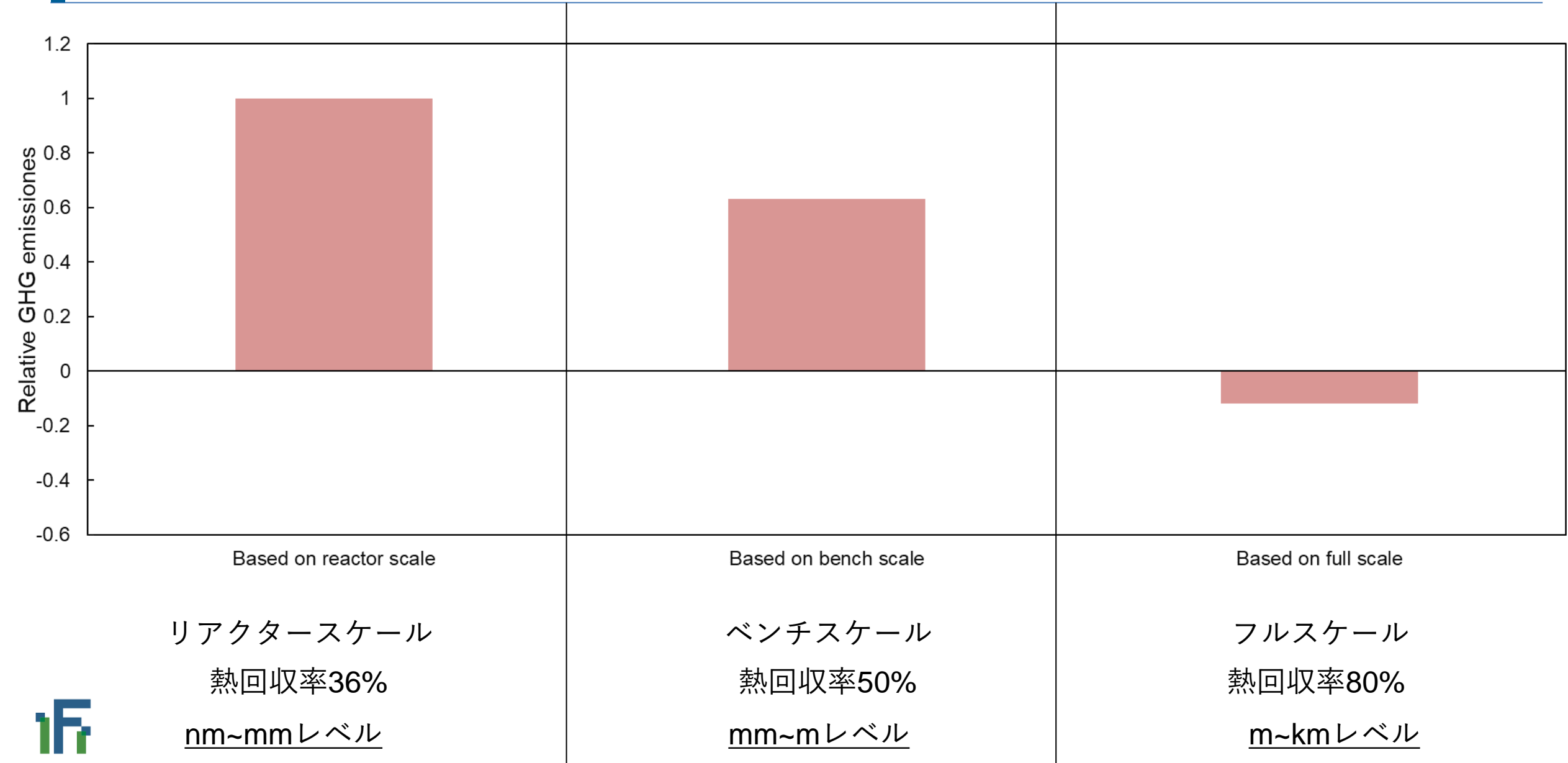
ベンチスケール
熱回収率50%
mm~mレベル



フルスケール
熱回収率80%
m~kmレベル



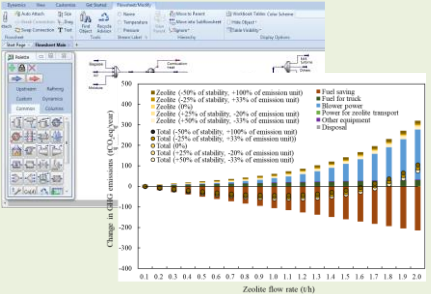
スケール違いのデータを用いてライフサイクルGHGを算出



nm~kmのシームレスな接続による先制的LC設計評価手法の開発

③m~km：システム

LCA・産業連関分析等

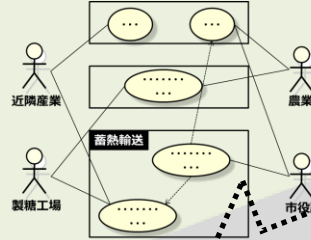


シナリオ候補作成

	A	B	...	n
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	
△△	□□	...	××	

ステークホルダーとの協議

- 行政、産業、金融 etc.



④先制的LC設計評価手法の確立

バックキャスト
目標到達には何が必要か

- ✓ TRLの低い段階の技術を「先制的」に評価するProspective LCA
- ✓ しかし技術情報は真に反映できているのか？

To be

Forecasting

As is

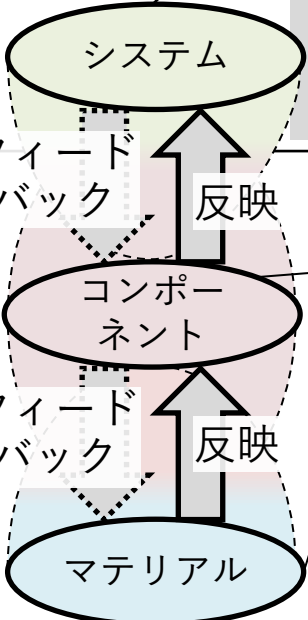
環境・社会経済条件含めた評価

フォアキャスト
ビジョン達成？or
時間&達成度の乖離有り？

要件へフィードバック

スケール
nm
mm
m
km
GHG削減量,
資源循環量
TRL etc.

時間



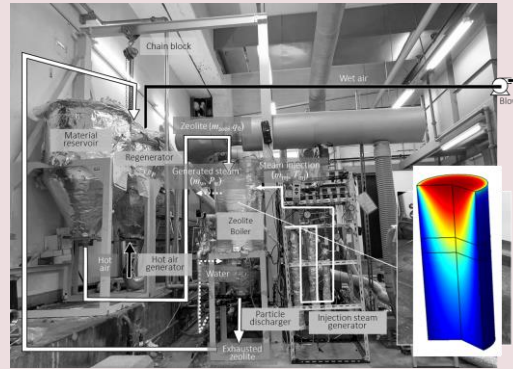
①nm~mm：マテリアル

平衡・速度論モデルの定義, 劣化



- パラメータ
- カチオン種
 - 結晶構造
 - 屈曲度
 - 空孔率
 - 熱伝導率など

②mm~m：コンポーネント



パラメータ

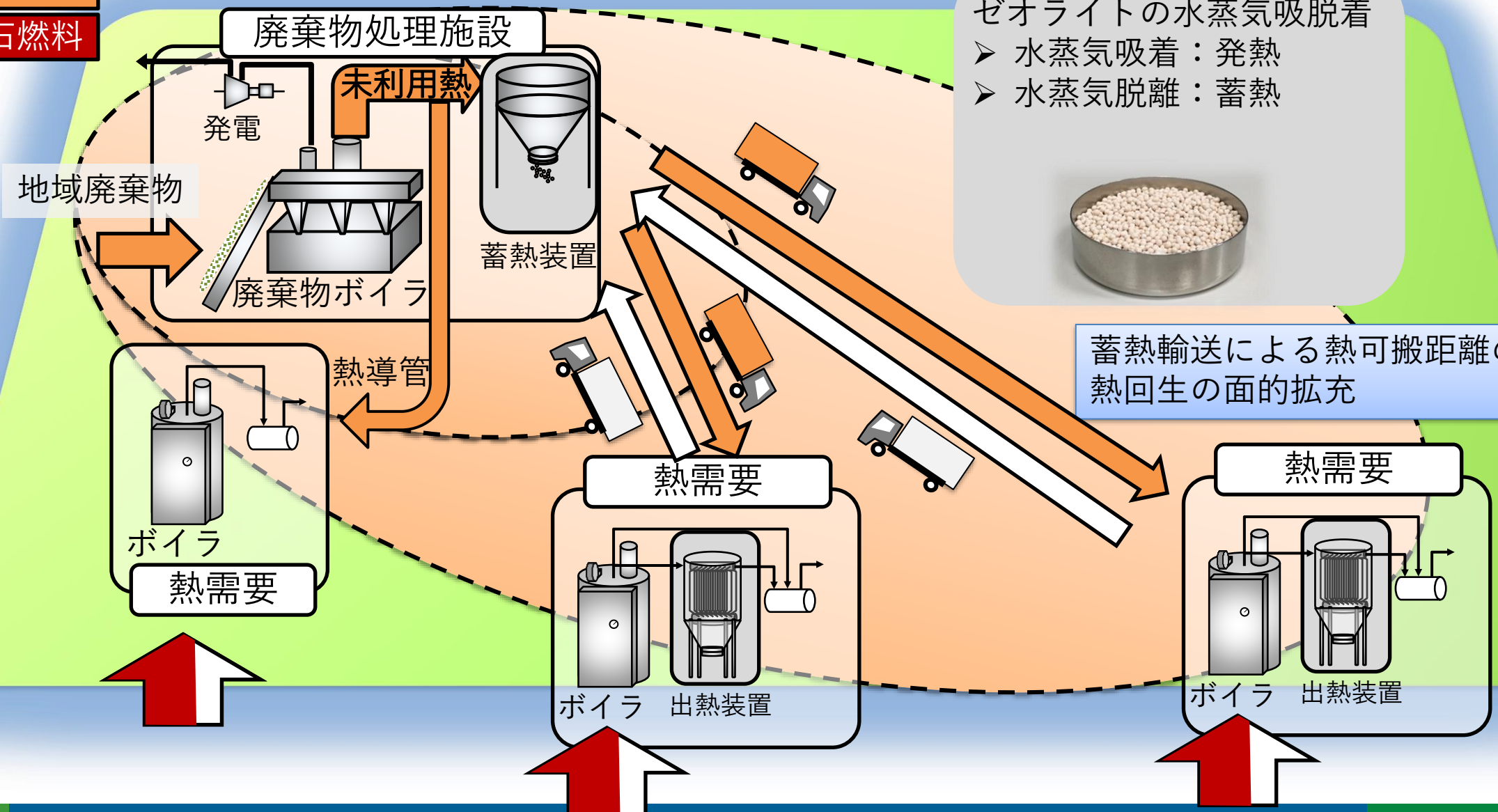
- 胴径
- 熱交換器高さ
- 給水流量
- 給水圧力
- 噴射蒸気流量
- 投入吸着量など

事例

1. 低温未利用熱の蓄熱輸送
2. 変動制再エネの熱ストレージ

事例1. ゼオライトを用いた低温未利用熱の蓄熱輸送

域内地域資源
域外化石燃料



ゼオライトの水蒸気吸脱着

- 水蒸気吸着：発熱
- 水蒸気脱離：蓄熱

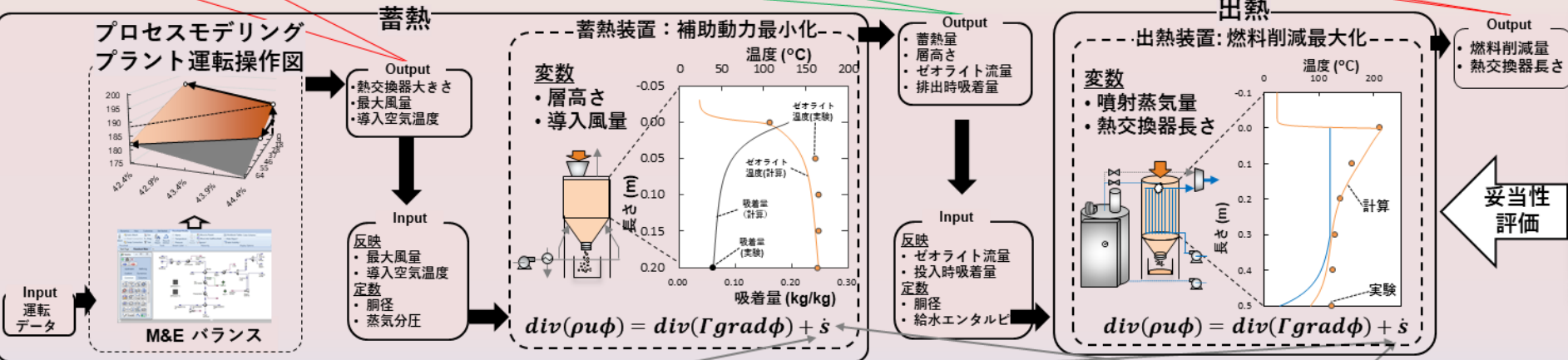
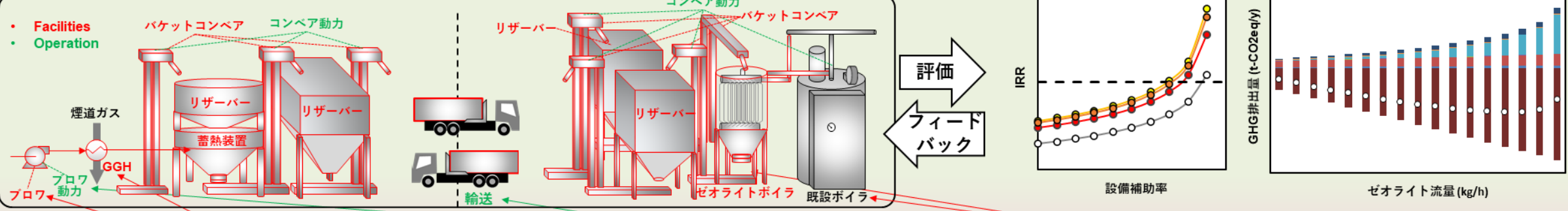


蓄熱輸送による熱可搬距離の拡大、
熱回生の面的拡充

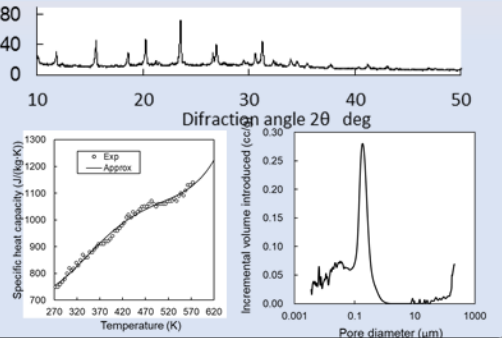


nm~kmのシームレスな接続

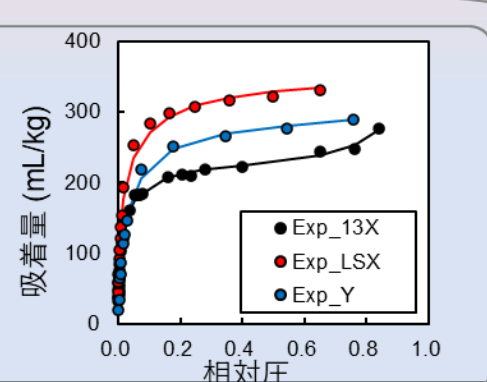
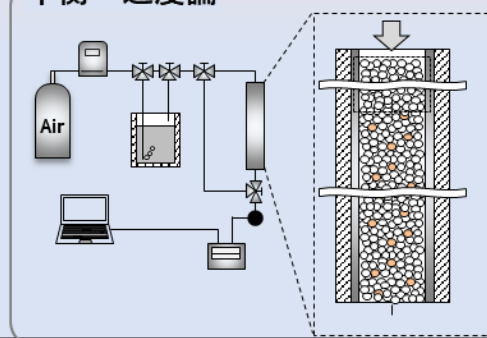
技術経済分析、ライフサイクルアセスメント、産業連関分析等



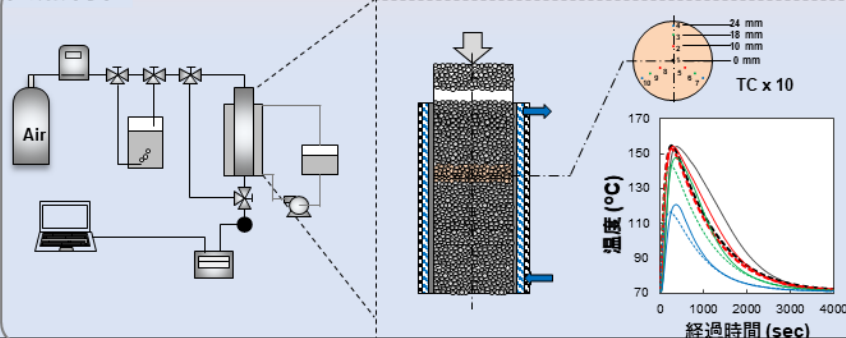
材料特性 (TG, XRD, 水銀ポロシ等)



平衡・速度論

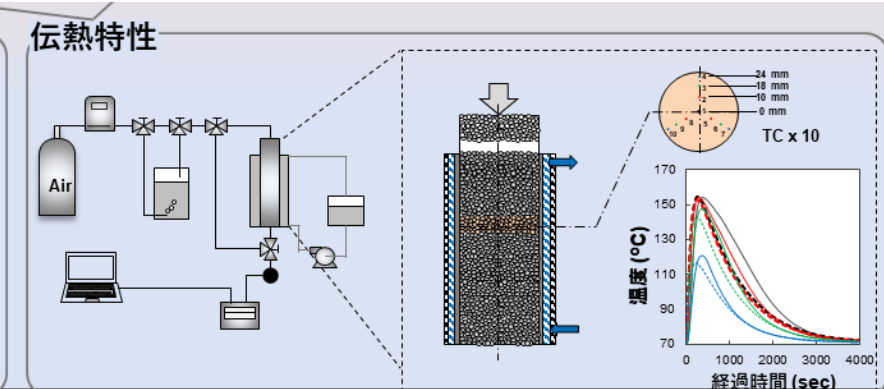
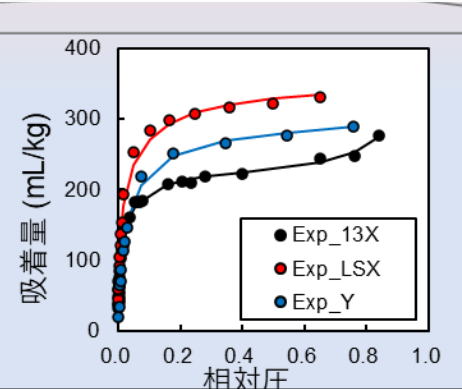
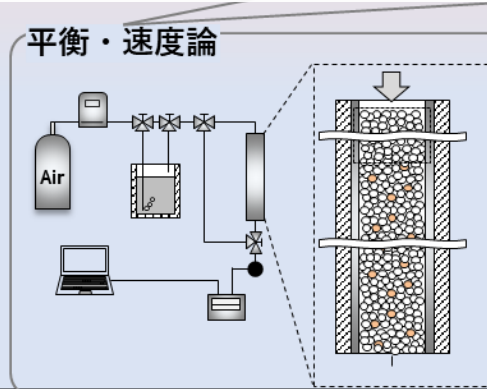
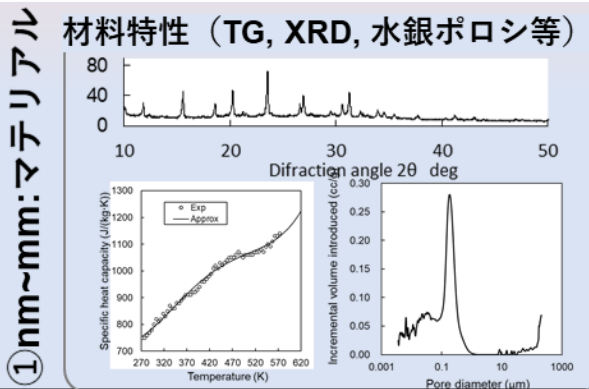
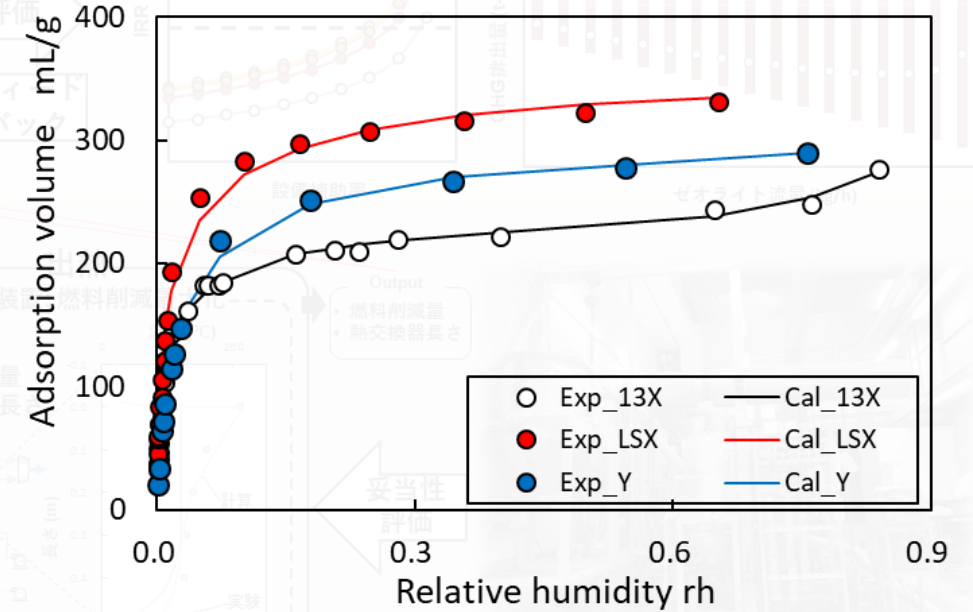
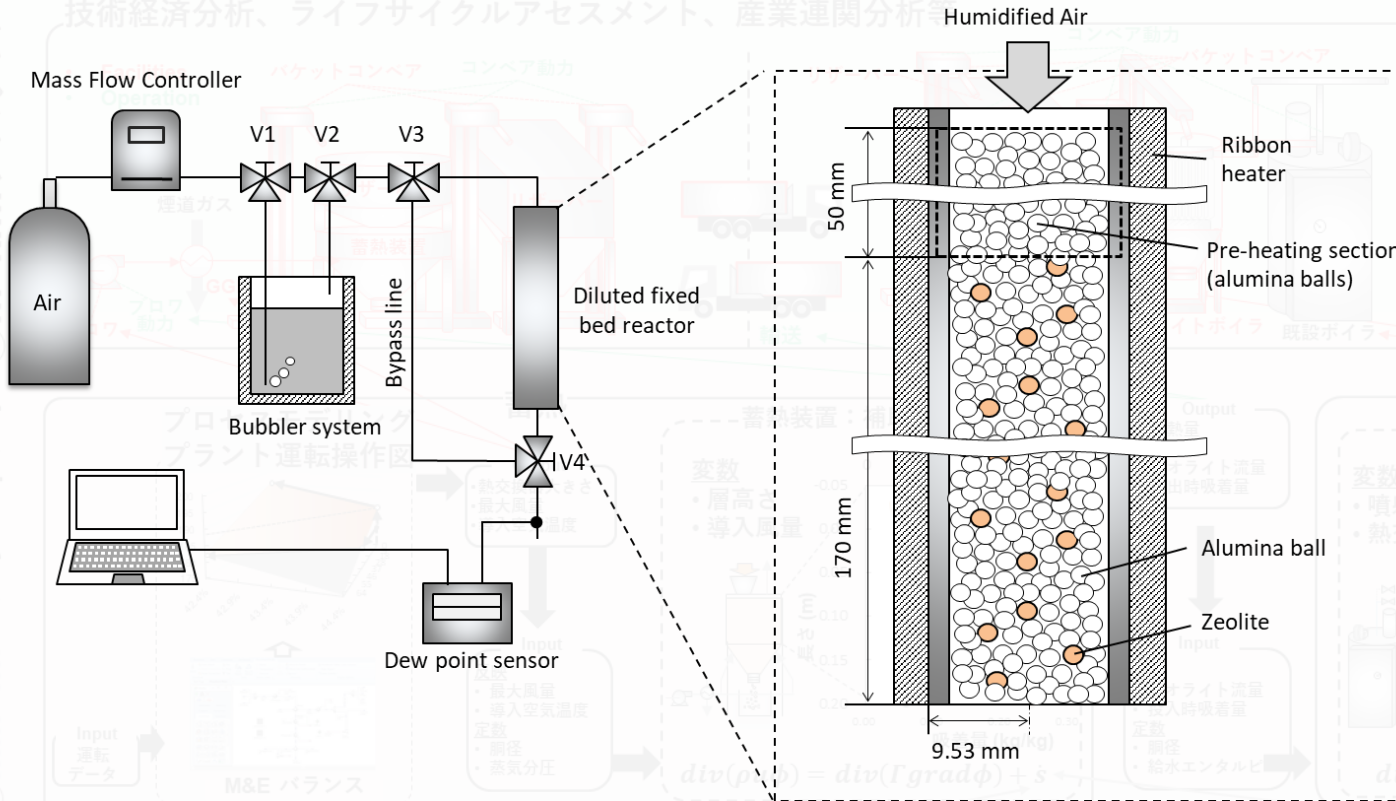


伝熱特性

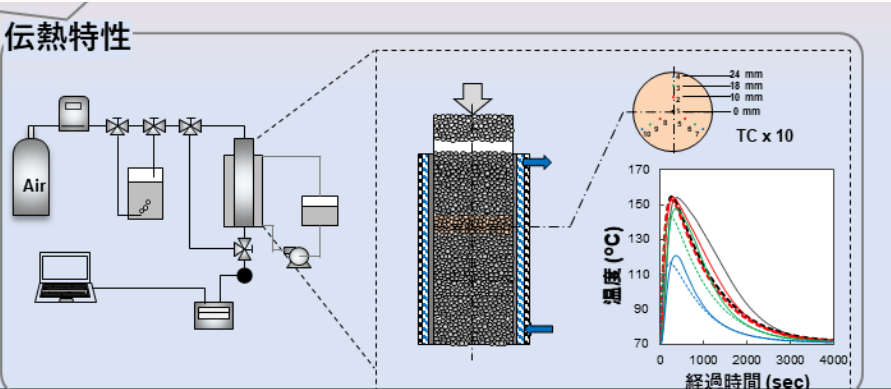
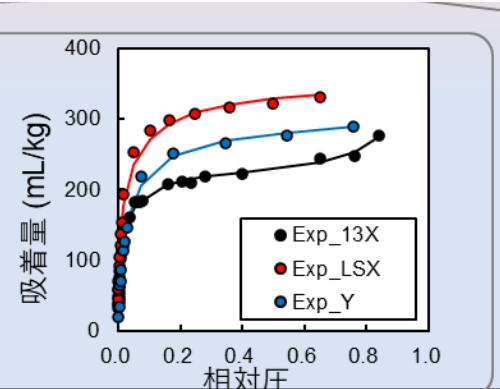
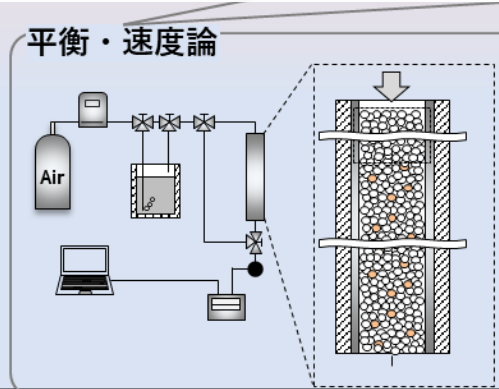
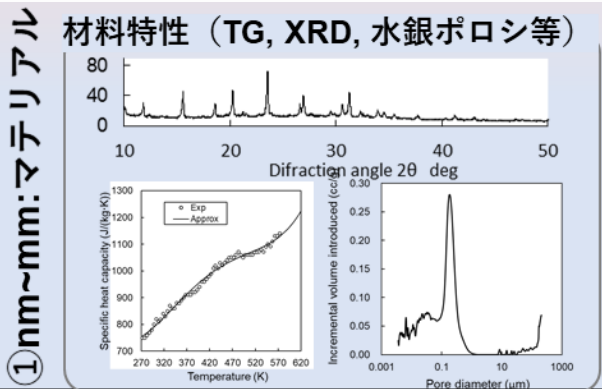
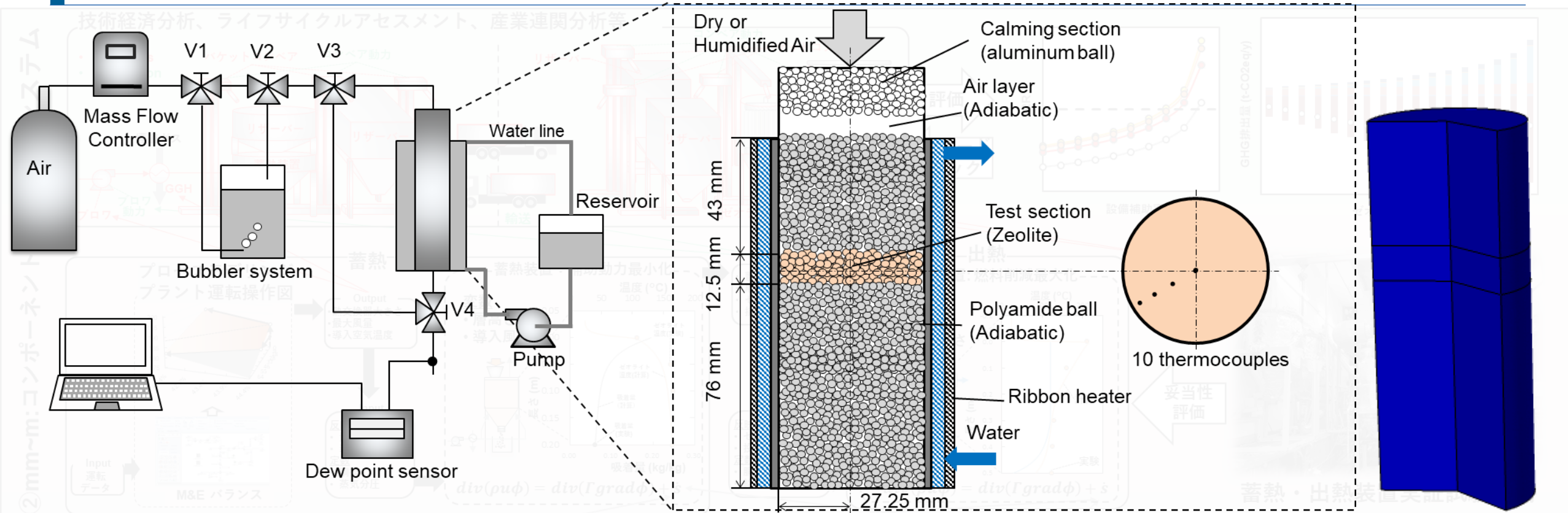


③ m~km: システム
② mm~m: コンポーネント
① nm~mm: マテリアル

【nm~mm : マテリアル】 平衡、速度論、伝熱など



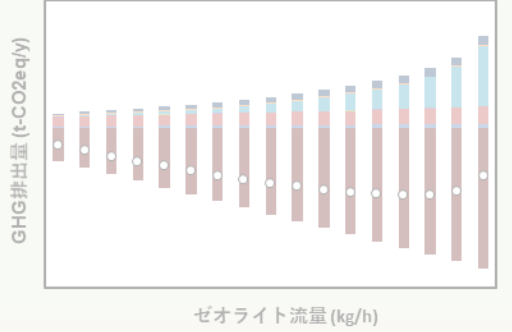
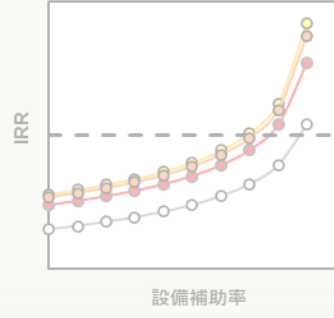
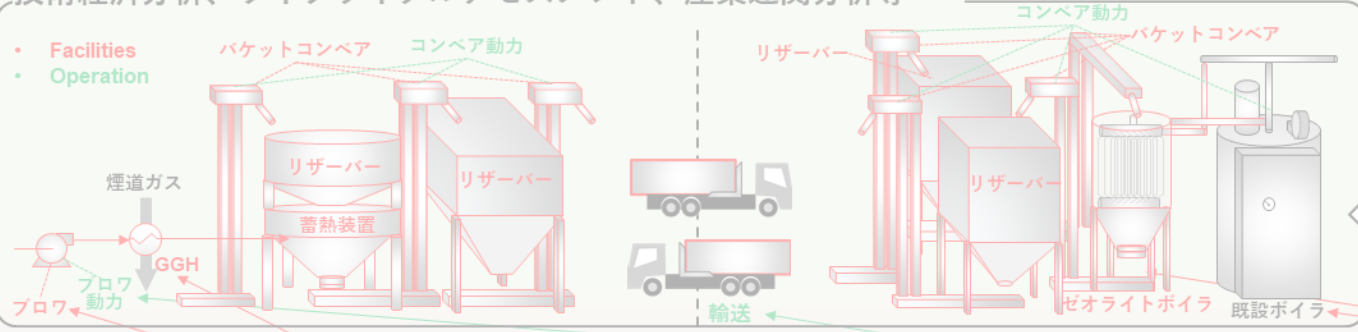
【nm~mm : マテリアル】 平衡、速度論、伝熱など



【mm-m：コンポーネント】

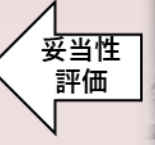
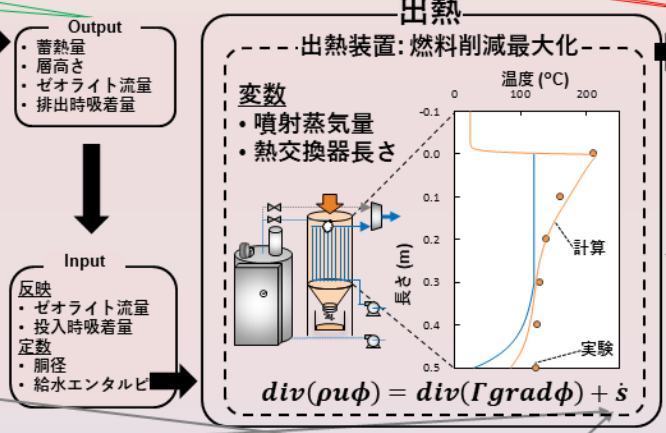
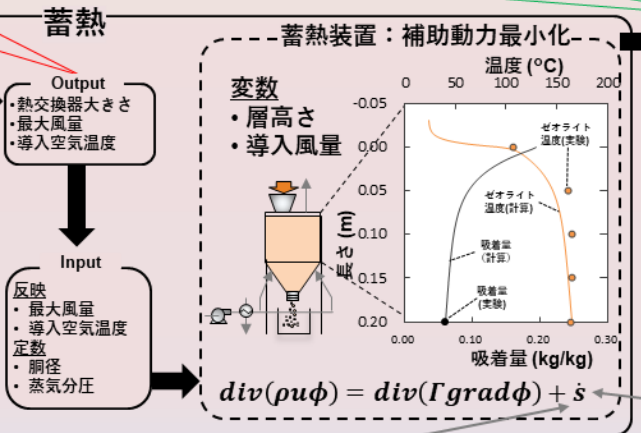
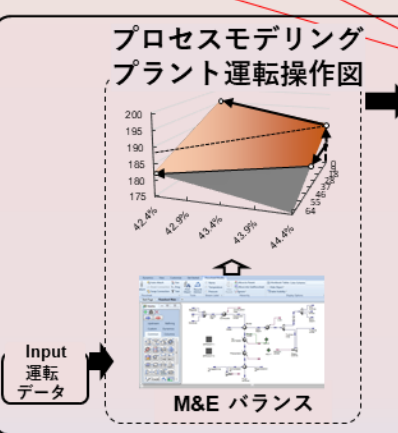
技術経済分析、ライフサイクルアセスメント、産業連関分析等

- Facilities
- Operation



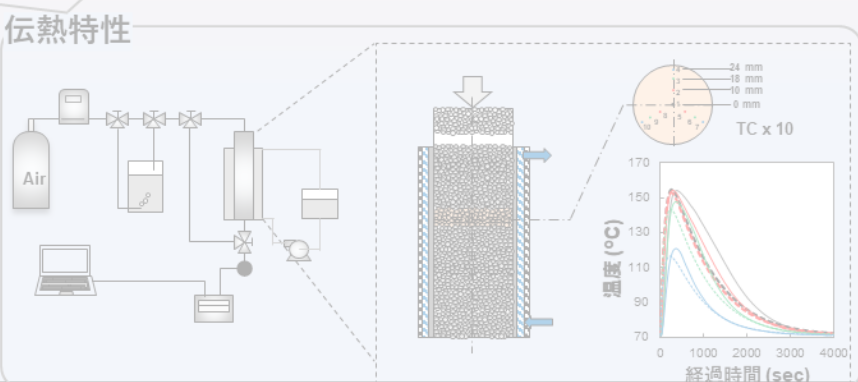
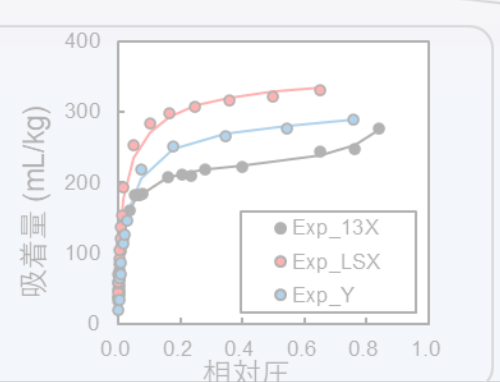
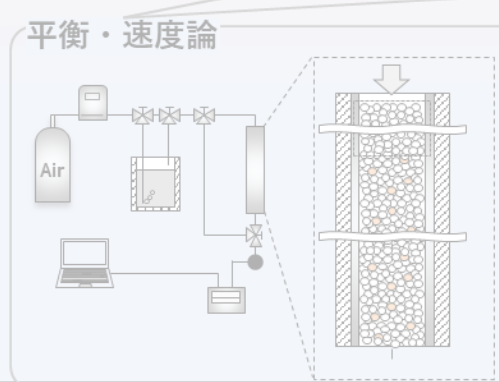
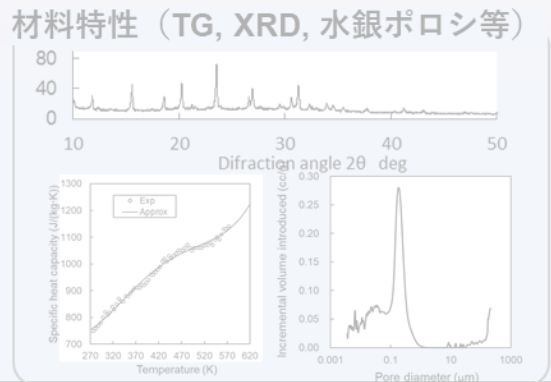
③m~km:システム

②mm~m:コンポーネント



蓄熱・出熱装置実証試験設備

①nm~mm:マテリアル



【mm-m : コンポーネント】 小規模実証試験@鹿児島県種子島



Cleaning factory

Zeolite boiler test rig

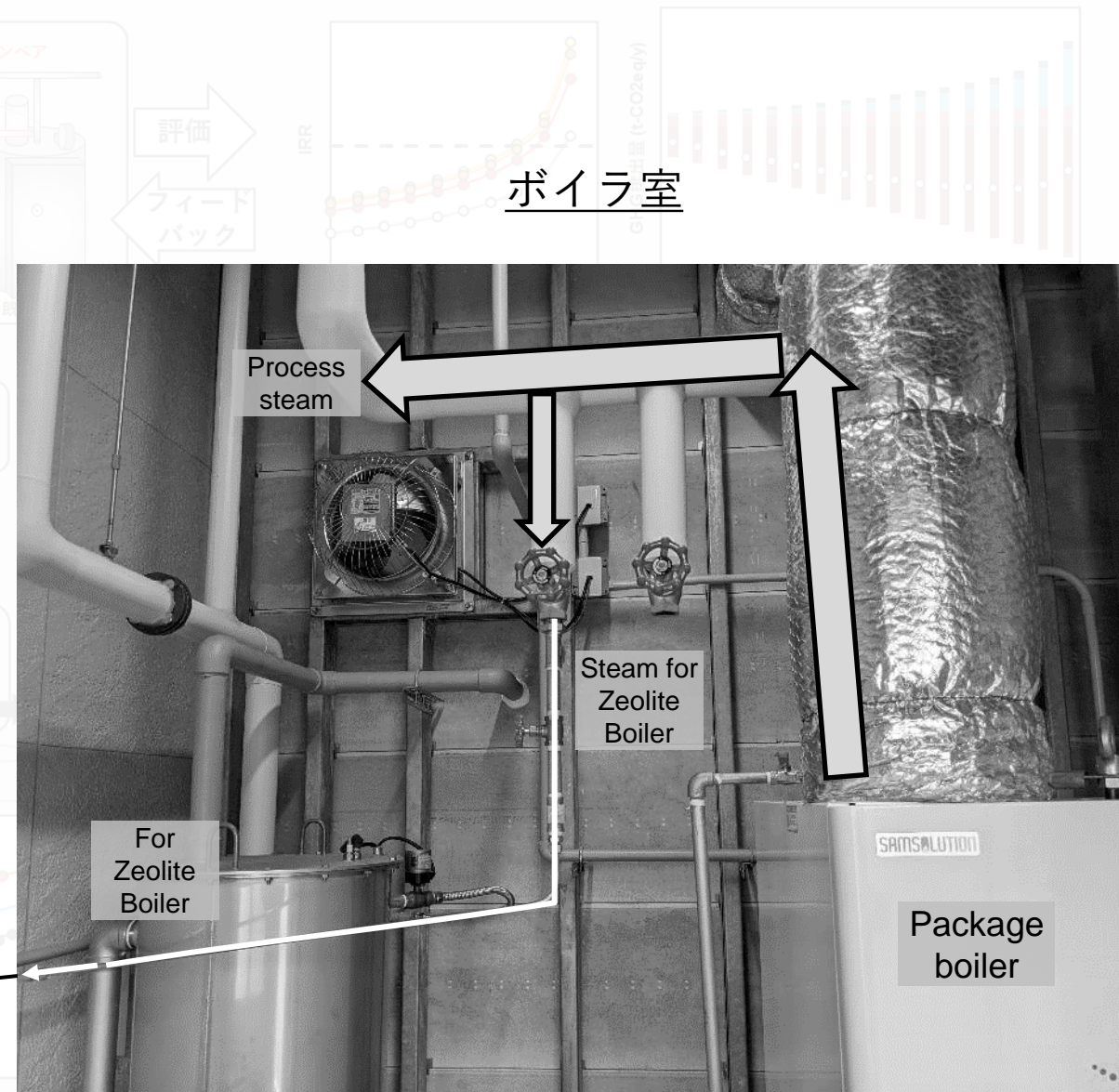
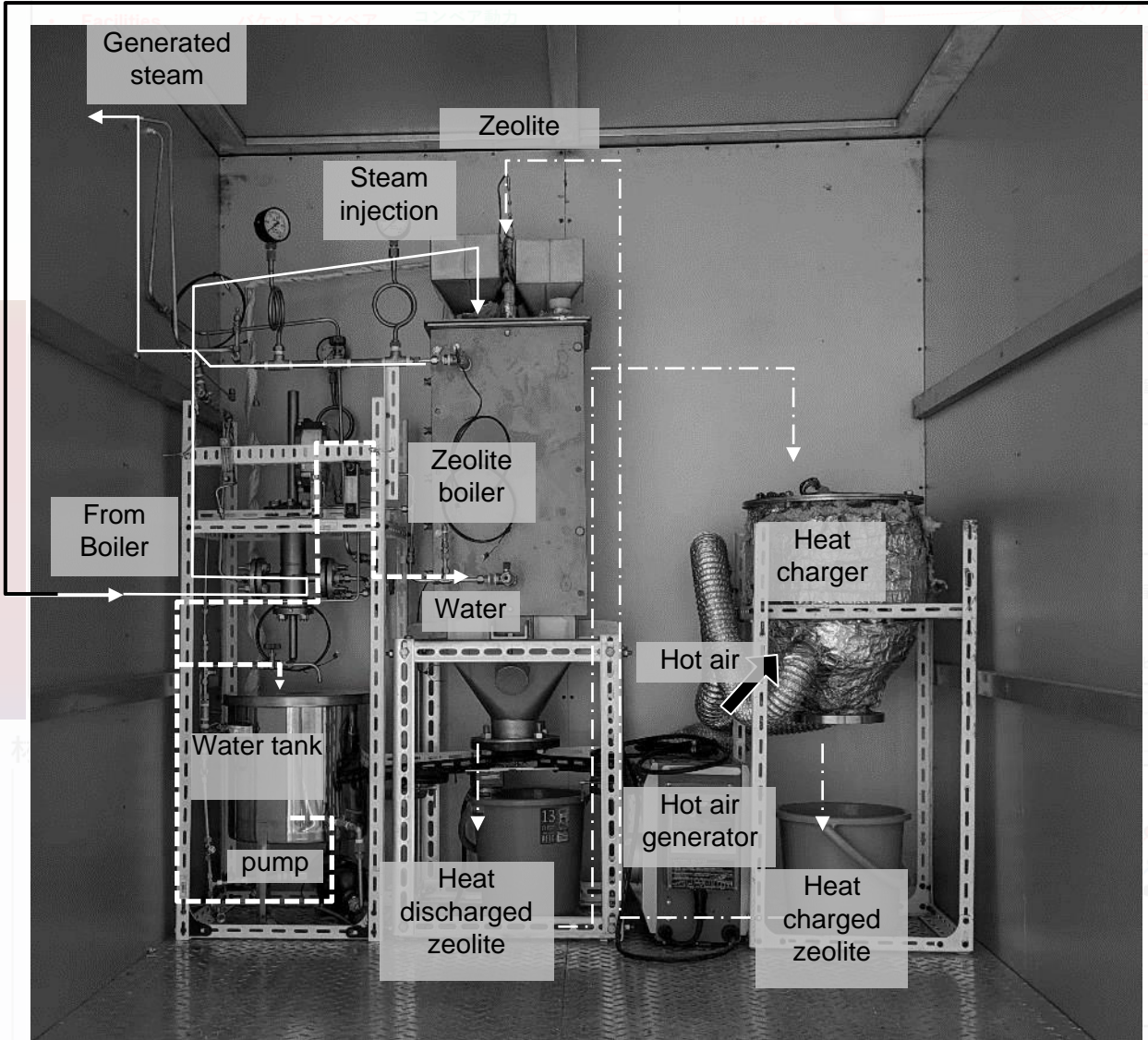
Boiler room

Storeroom

【mm-m : コンポーネント】 小規模実証試験

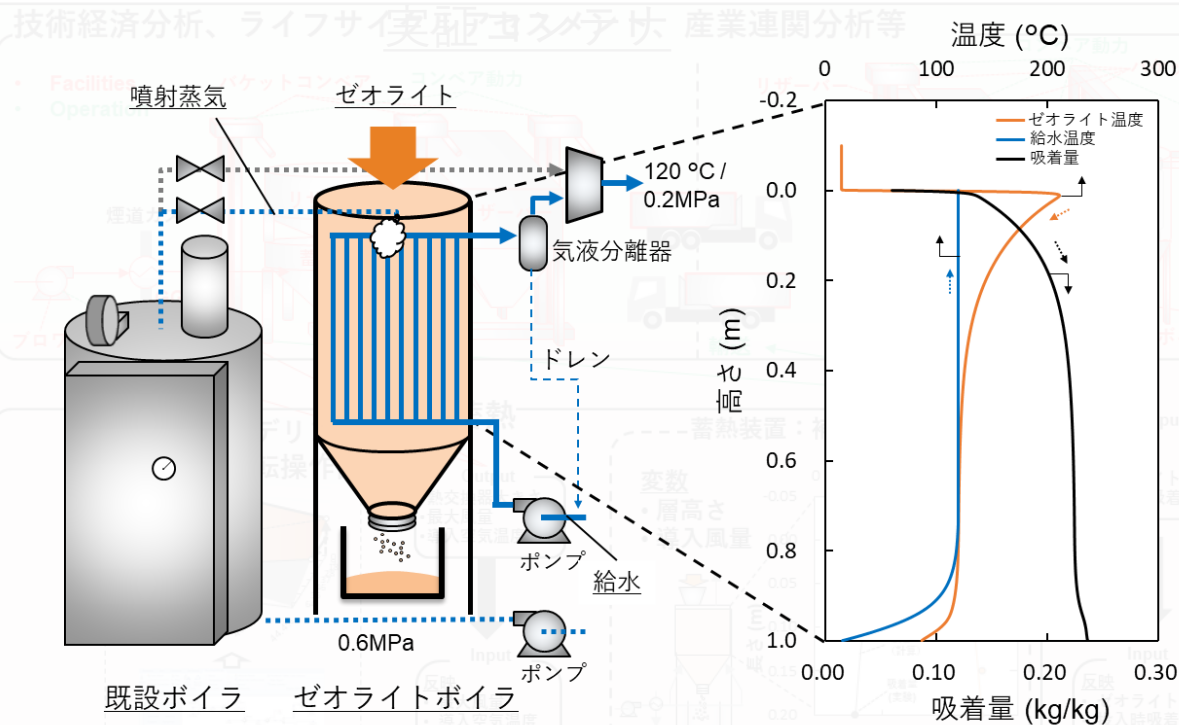
技術経済分析、ライフサイクル実証コンテナ 産業連関分析等

①mm-mm:マテリアル ②mm-m:コンポーネント ③m-km:システム



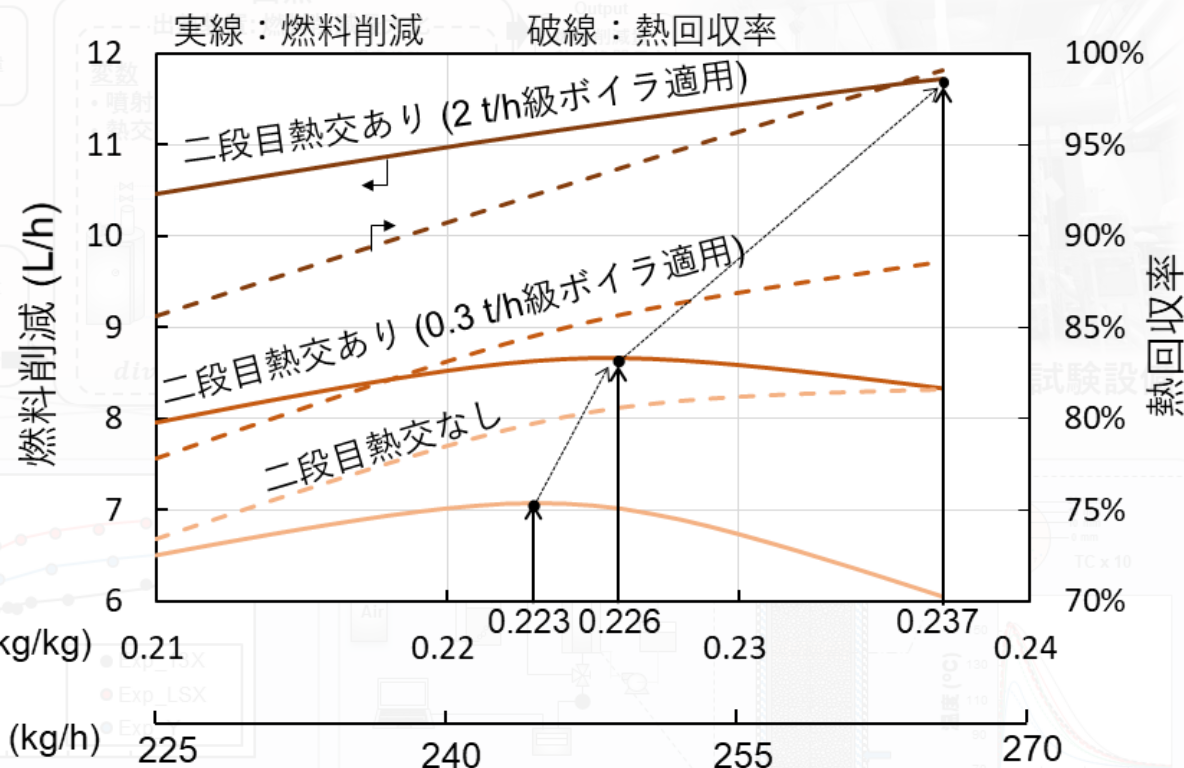
【mm-m：コンポーネント】数値解析による商用機性能予測

②mm~m:コンポーネント



数値解析

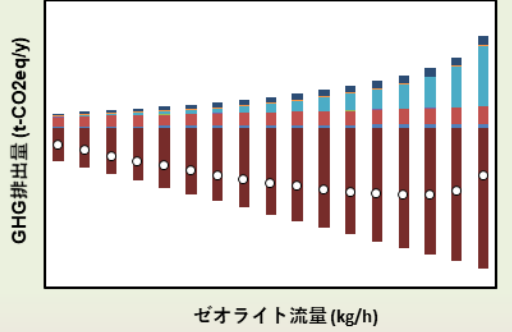
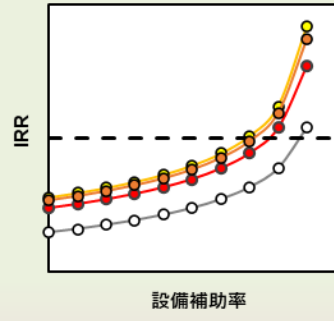
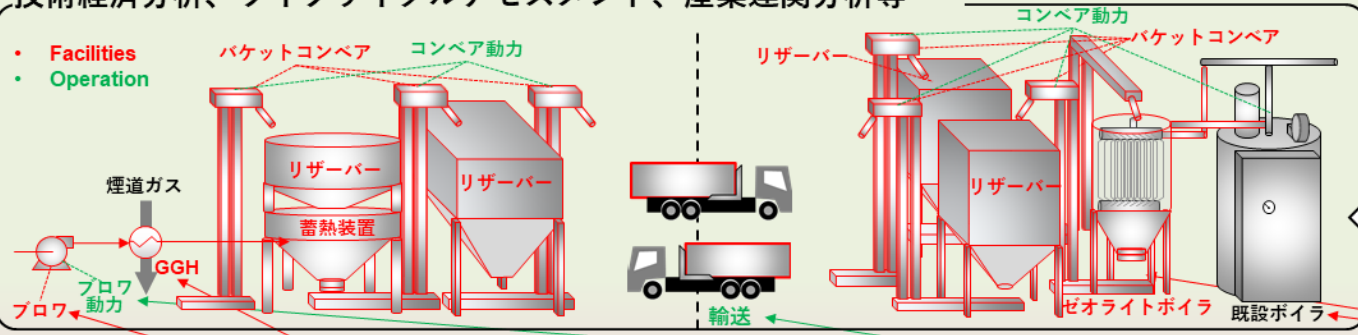
感度解析による
商用機運転操作図



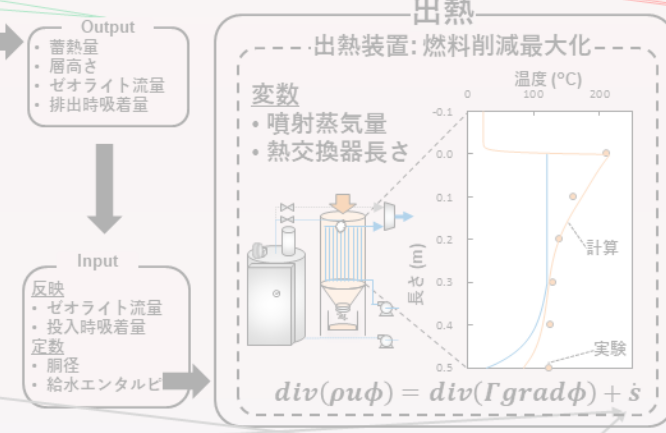
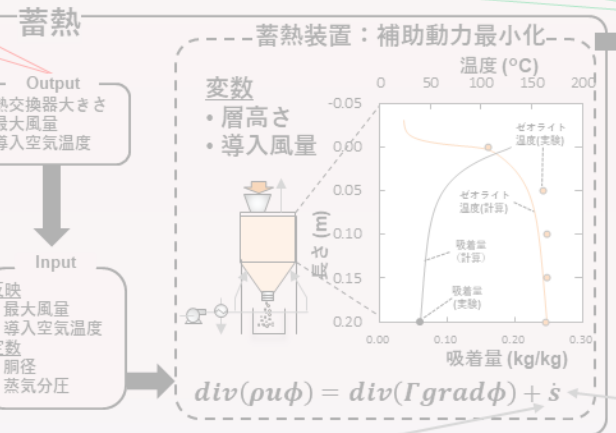
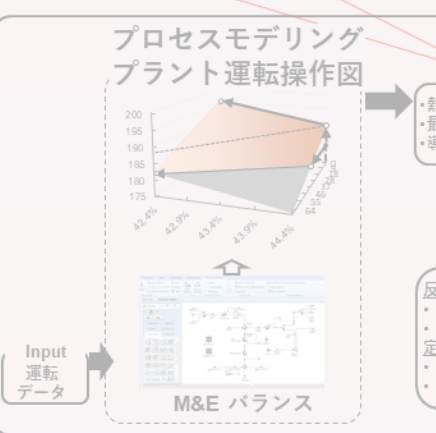
【m-km : システム】

技術経済分析、ライフサイクルアセスメント、産業連関分析等

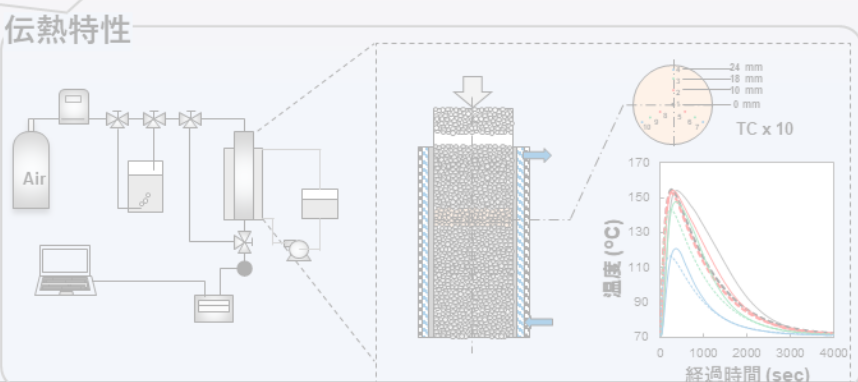
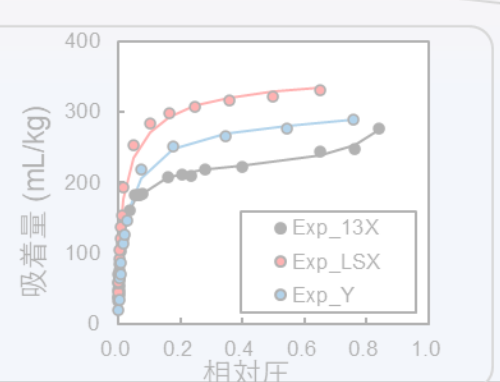
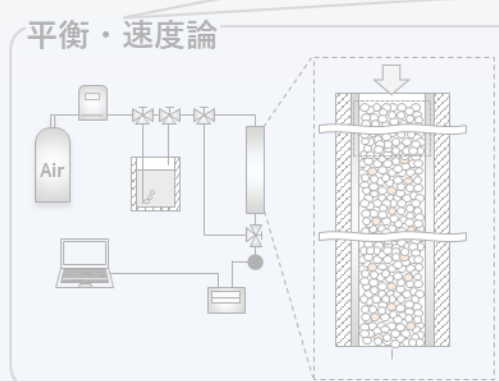
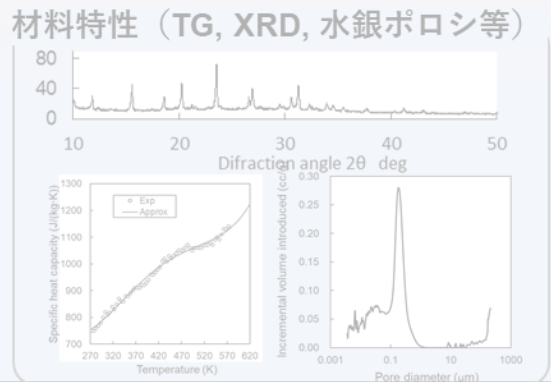
- Facilities
- Operation



③ m~km: システム



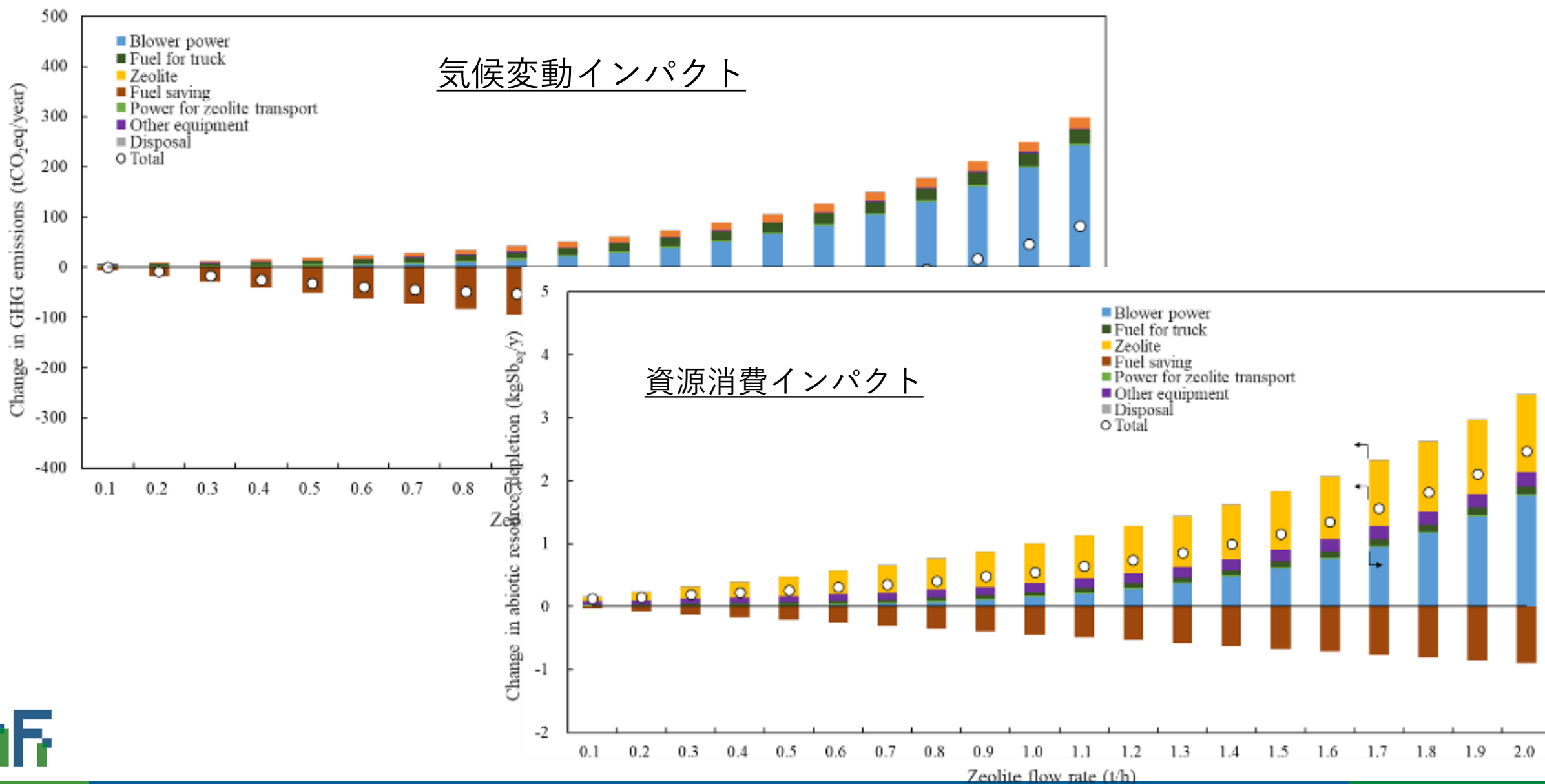
② mm~m: コンポーネント



① nm~mm: マテリアル

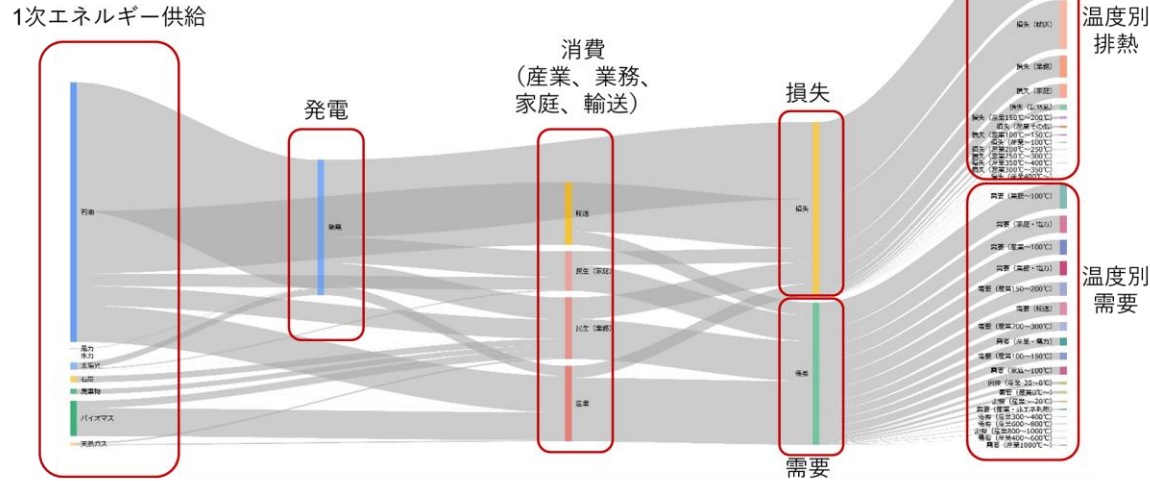
蓄熱・出熱装置実証試験設備

【m-km：システム】 様々なインパクトカテゴリでのLCA



【m-km : システム】 全国の技術導入ポテンシャル

基礎自治体レベルのエネルギーフロー推定

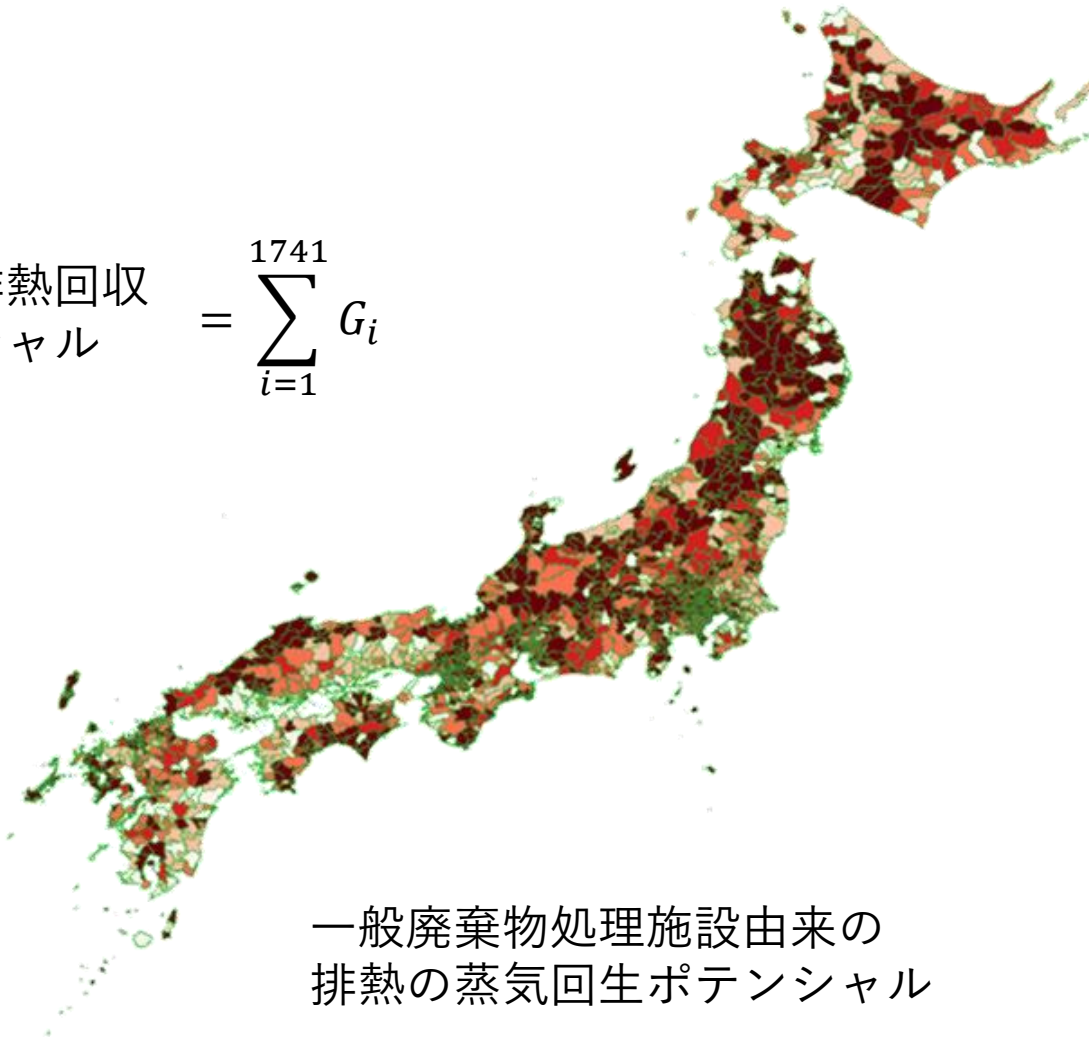
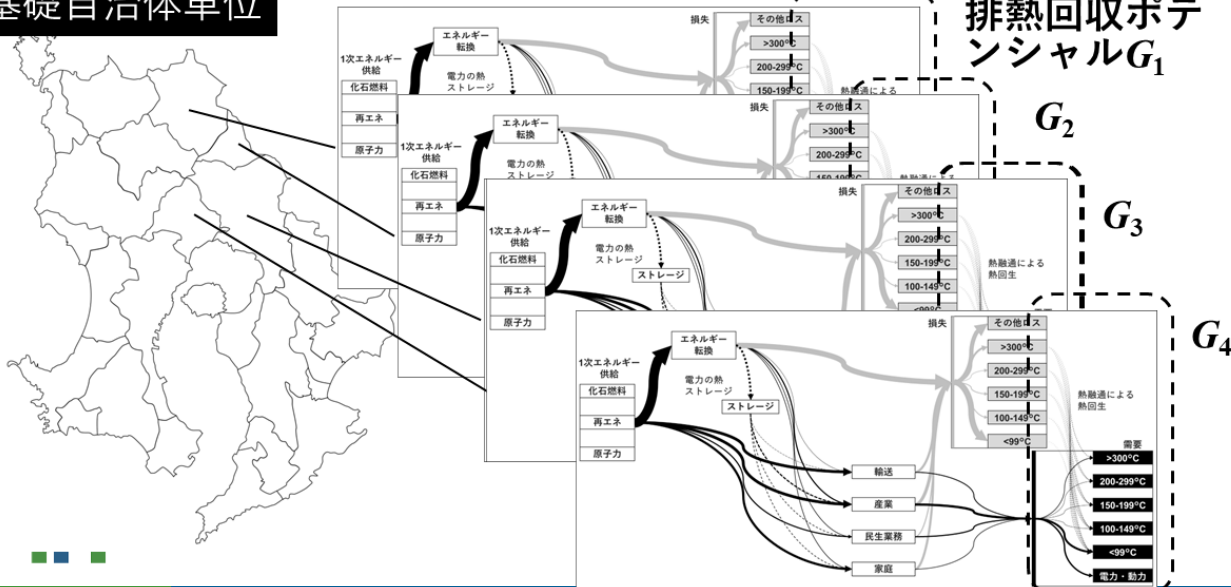


排熱を150°Cまで回収とし、蓄熱・出熱効率を乗じ、自治体内での蒸気回生ポテンシャルを算出

全国の排熱回収ポテンシャル

$$= \sum_{i=1}^{1741} G_i$$

基礎自治体単位

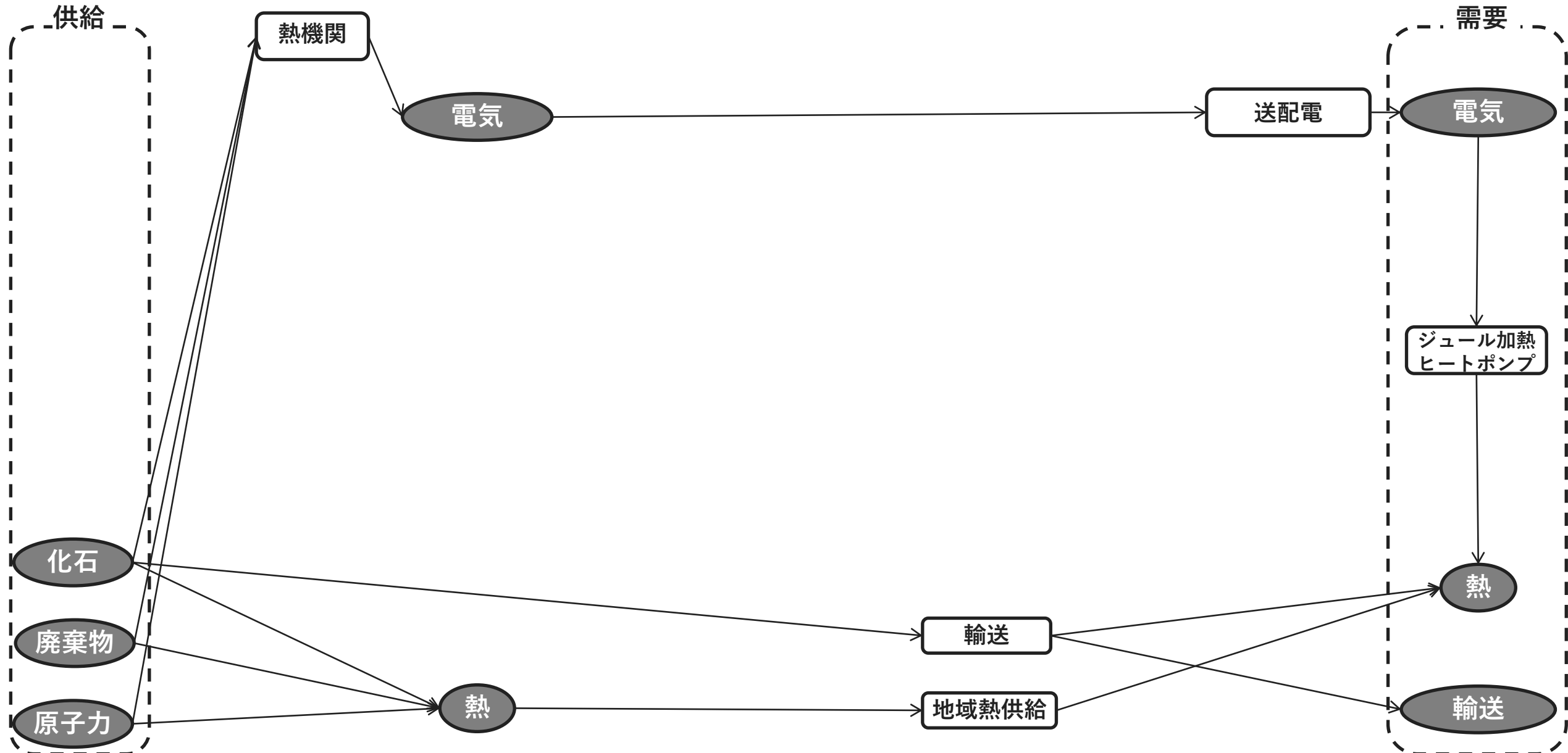


一般廃棄物処理施設由来の排熱の蒸気回生ポテンシャル

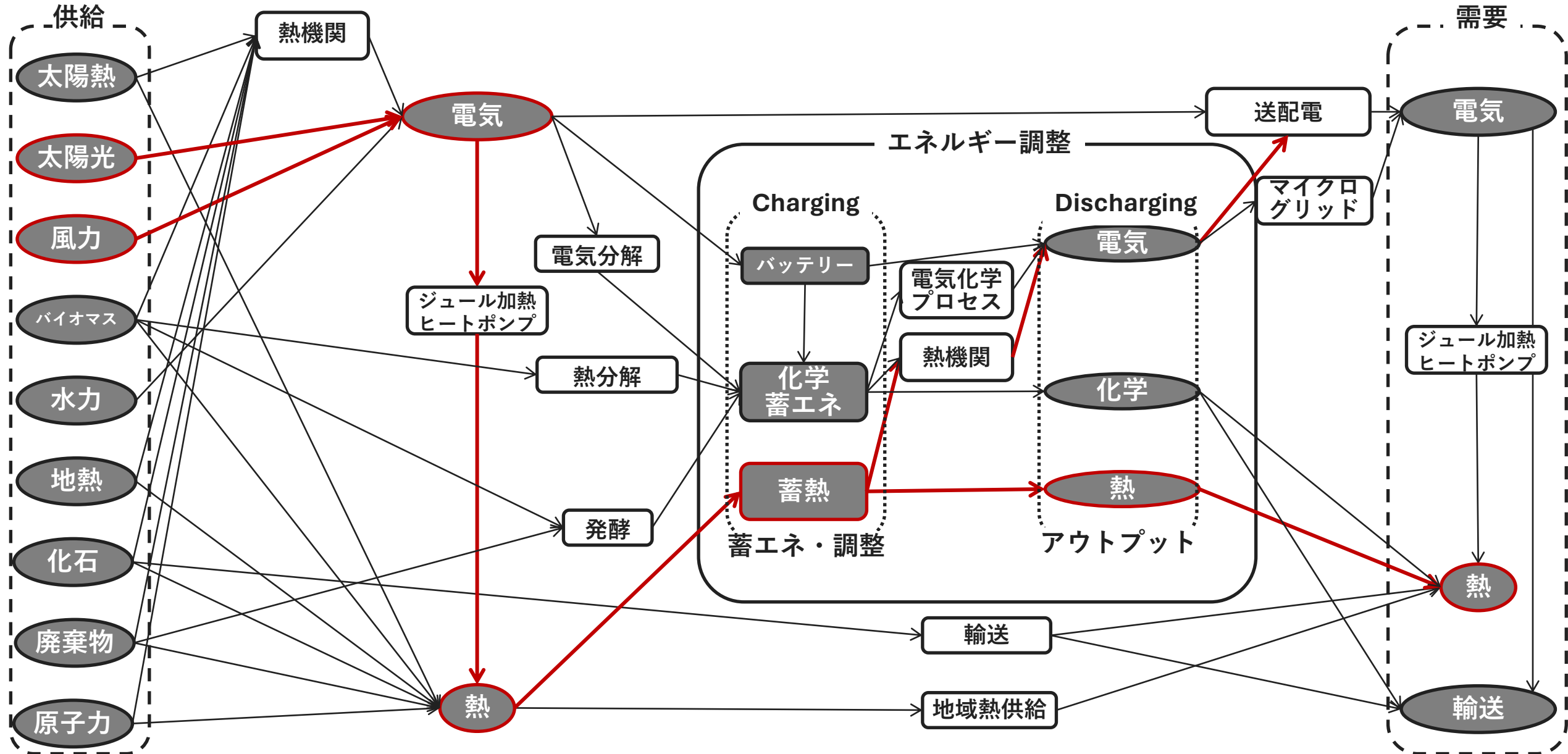
事例

1. 低温未利用熱の蓄熱輸送
2. 変動制再エネの熱ストレージ

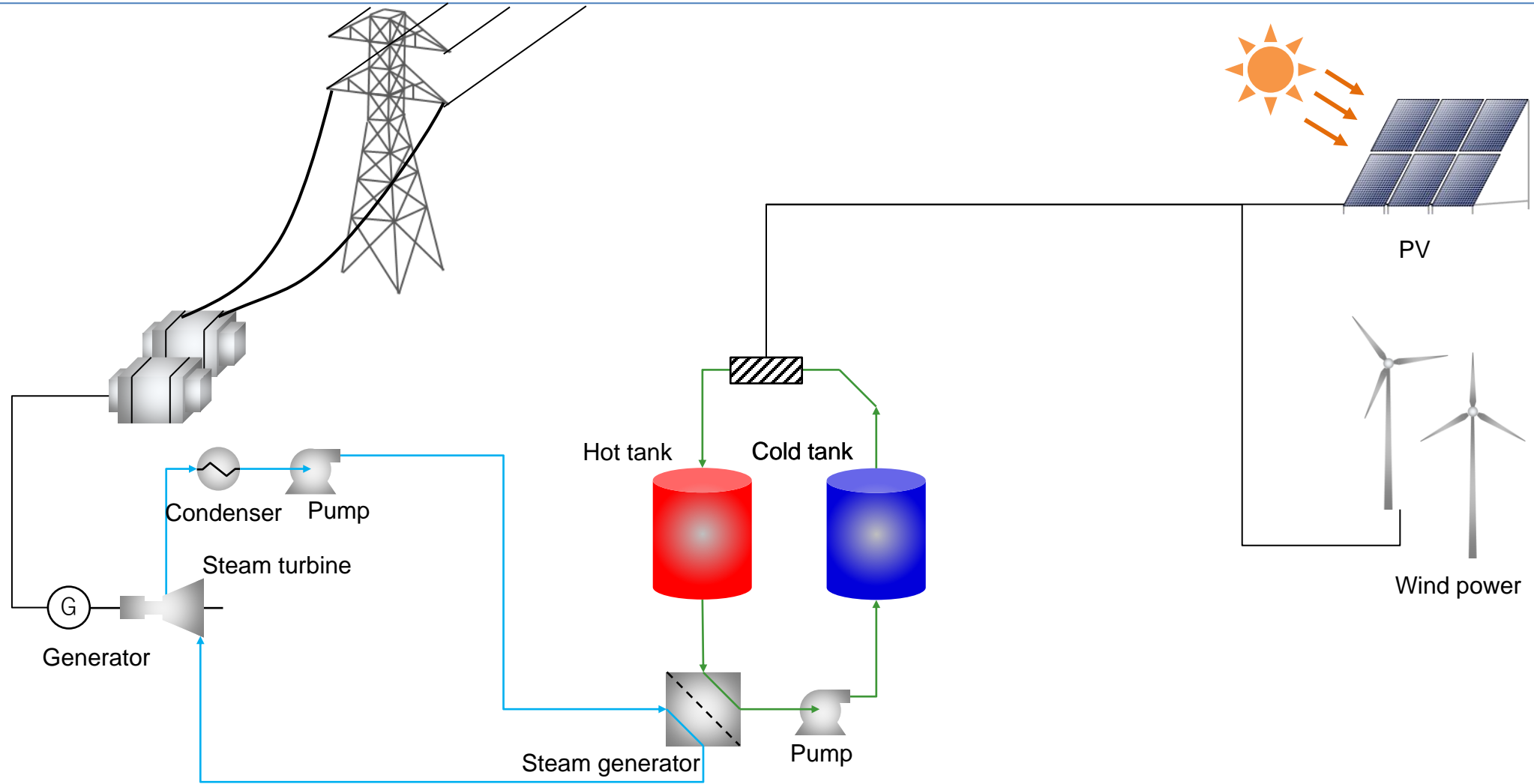
従来のシンプルなエネルギー需給構造



供給源が多様化、エネルギー調整，蓄エネルギーが必要となる



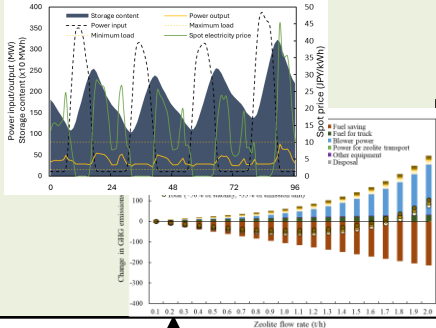
事例2. 変動制再エネの熱ストレージ



カルノーバッテリーにおけるnm~kmのシームレスな接続

③m~km：システム

LCA・産業連関分析等

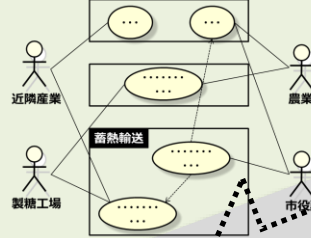


シナリオ候補作成

	A	B	...	n
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××
△△	□□	□□	...	××

ステークホルダーとの協議

- 行政、産業、金融 etc.



④先制的LC設計評価手法の確立

バックキャスト
目標到達には何が必要か

- ✓ TRLの低い段階の技術を「先制的」に評価するProspective LCA
- ✓ しかし技術情報は真に反映できているのか？

To be

要件へフィードバック

環境・社会経済条件含めた評価

フォアキャスト
ビジョン達成？or
時間&達成度の乖離有り？

Forecasting

As is

時間

GHG削減量, 資源循環量, TRL etc.
km
m
mm
nm

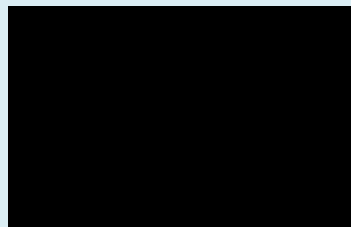
システム

コンポーネント

マテリアル

①nm~mm：マテリアル

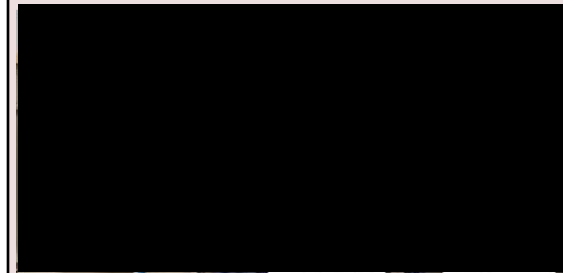
平衡・速度論モデルの定義, 劣化



パラメータ

- 組成
- 融点
- ペレット径
- 潜熱
- 比熱など

②mm~m：コンポーネント



パラメータ

- 胴径
- 熱交換器高さ
- ガス流量・温度
- 生成蒸気圧力
- 充填量など

太陽光を入熱源とした場合

未発表につき、非公開

製紙工場（コジェネ）に太陽光＋蓄熱を導入した場合

未発表につき、非公開

nm~kmのシームレスな接続による先制的LC設計評価手法の開発

③m~km：システム

LCA・産業連関分析等

シナリオ候補作成

	A	B	...	n
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×
△△	□□	...	×	×

ステークホルダーとの協議

- 行政、産業、金融 etc.

④先制的LC設計評価手法の確立

バックキャスト
目標到達には何が必要か

- ✓ TRLの低い段階の技術を「先制的」に評価するProspective LCA
- ✓ しかし技術情報は真に反映できているのか？

To be

Forecasting

As is

要件へフィードバック

環境・社会経済条件含めた評価

フォアキャスト
ビジョン達成？or
時間&達成度の乖離有り？

GHG削減量, 資源循環量, TRL etc.

スケール

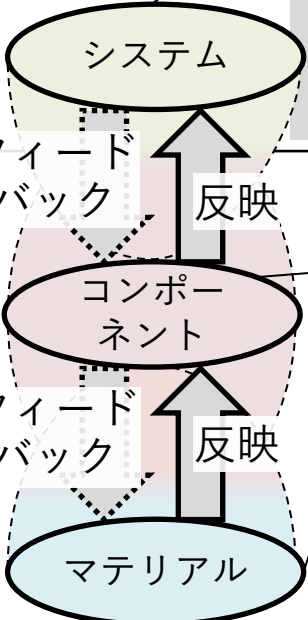
km

m

mm

nm

時間



①nm~mm：マテリアル

平衡・速度論モデルの定義, 劣化

パラメータ

- カチオン種
- 結晶構造
- 屈曲度
- 空孔率
- 熱伝導率など

②mm~m：コンポーネント



- #### パラメータ
- 胴径
 - 熱交換器高さ
 - 給水流量
 - 給水圧力
 - 噴射蒸気流量
 - 投入吸着量など

まとめ

- 新興技術を含むエネルギー貯蔵技術の最適な組み合わせ設計には粒度とスケールを合わせたうえでのライフサイクル設計が重要である。
- 機械工学・機械学会単体では“カーボンニュートラル”や“サーキュラーエコノミー”といったBig pictureは描けないかもしれない。
- しかし機械工学はライフサイクル設計に使える“データ”を提供し続けることができる。
- 機械工学がイニシアティブをとって、エネルギー貯蔵の組み合わせによるレジリエントな熱電需給構造を実現していきたい。