

表紙

LCA/TEAの評価基盤構築による風化促進システムの研究開発



PM：森本 慎一郎
環境・社会評価研究チーム長
ゼロエミッション国際共同研究センター
国立研究開発法人 産業技術総合研究所

PJ参画機関：国立研究開発法人 理化学研究所
国立大学法人 筑波大学
学校法人 東京農業大学

ムーンショット目標4：2050年カーボンニュートラル実現に向けて

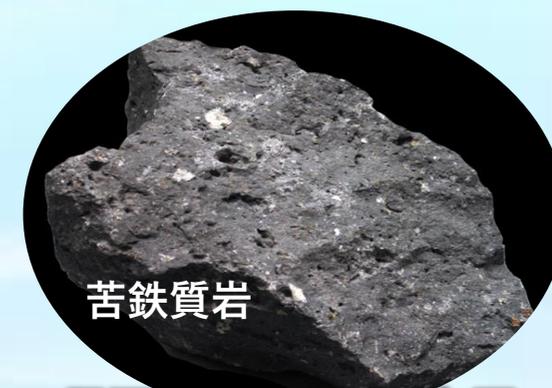
大気中の希薄なCO₂を苦鉄質岩等の**炭酸塩化（風化現象）**によって吸収し、苦鉄質岩や生成した炭酸塩を土壤散布することによって**植物育成を促進**するまでのトータルシステムを**LCA/TEA**の観点から最適化する評価基盤を開発。

風化促進の課題は・・・

- 正確なCO₂削減量が算定できず、効果不明(グリーンイノベーション戦略推進会議)。
- 苦鉄質岩や炭酸塩の利活用に関する実証データが存在しない。
- 風化現象の反応が遅く、経済的に不利(≒\$218/t-CO₂ by Fuss, 2018)。

本提案における技術ポイント

- 苦鉄質岩のCO₂固定量を**精緻にアカウンティング**。
- 苦鉄質岩や炭酸塩等の最適な**土壤散布方式**を解明。
- 低コスト化に向けた**風化促進技術開発**と最適条件探索を行う**LCA/TEA評価ツール**開発。



苦鉄質岩

世界的に豊富な賦存量



炭酸塩は植物育成効果を持つ

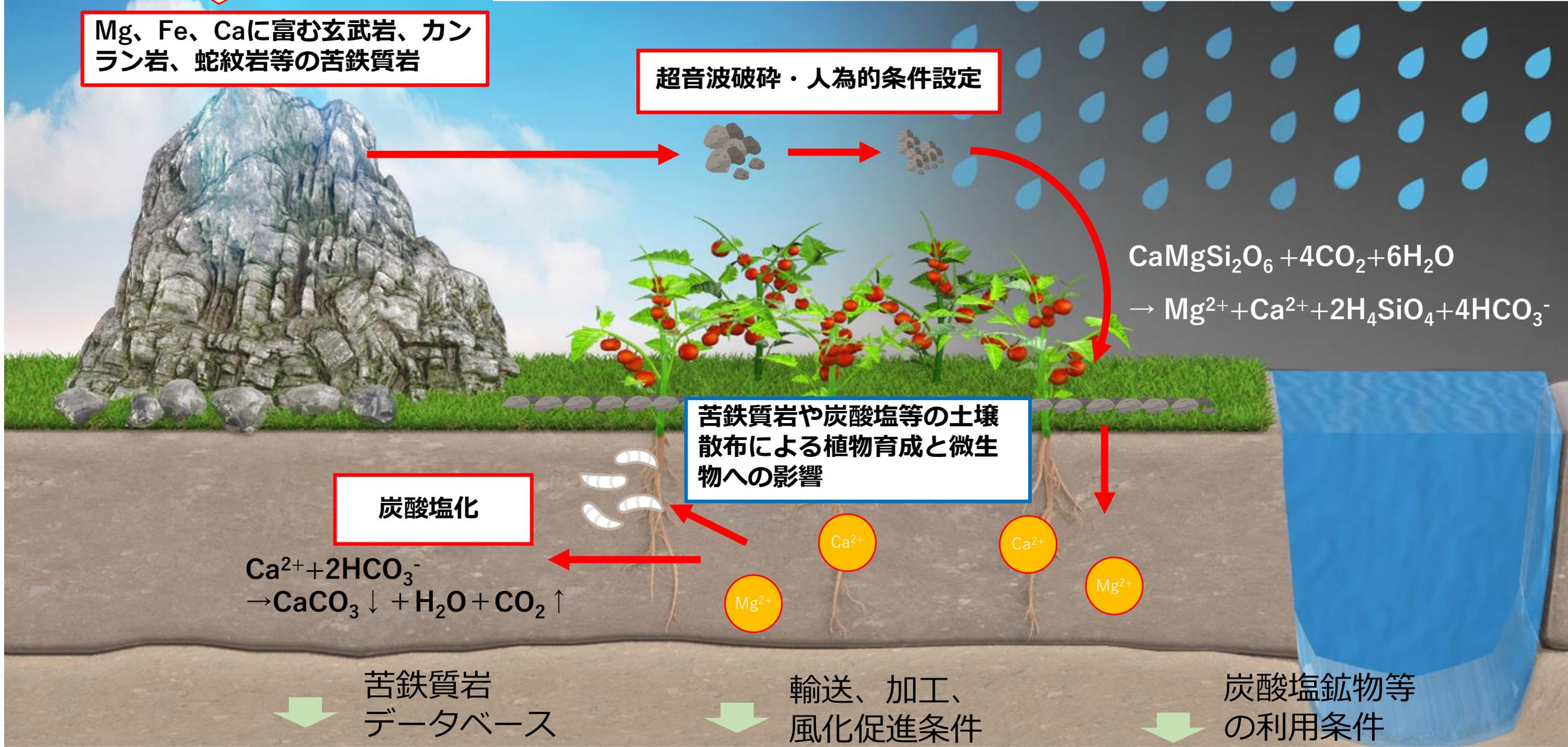
実現を目指す資源循環システム

**2050年に
年間約4億トンの
苦鉄質岩を採掘**

評価範囲	CO ₂ 削減量 (億t/年)	経済効果 (兆円/年)
炭酸塩製造まで (日本)	0.6~1.2	1.0~2.0
土壌散布まで (世界)	0.4	0.7
合計	1.0~1.6	1.7~2.7

Mg、Fe、Caに富む玄武岩、カンラン岩、蛇紋岩等の苦鉄質岩

超音波破碎・人為的条件設定



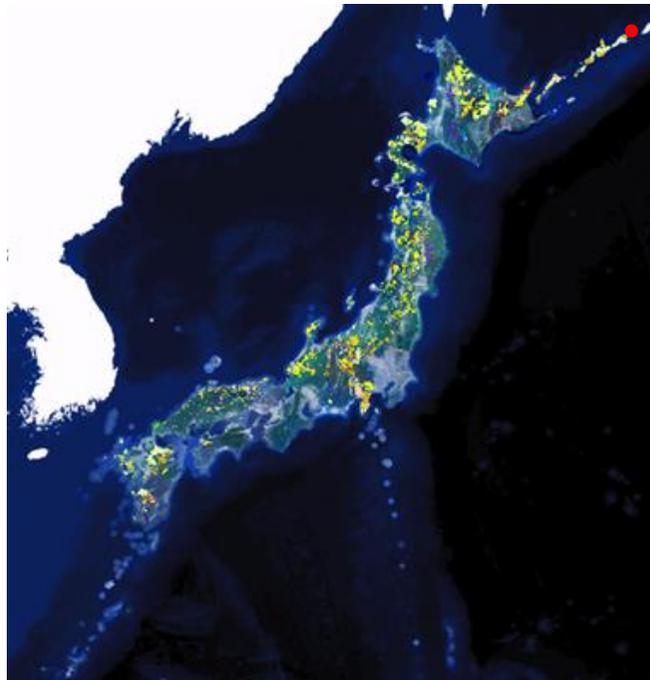
LCA/TEA評価ツール 全体システムのCO₂収支・コストを計算し、コスト最適な炭酸塩加工・利活用条件を探索

研究開発1~2：苦鉄質岩DBとCO₂固定量測定技術の開発

アカウントティング・低コスト化・利活用

- 苦鉄質岩の**鉱物組成、形状、採掘サイト**情報等に関する国内版データベースを開発。
- **制御条件（試料室内）、長期屋外暴露条件、土壌散布条件**でのCO₂吸収量をマイクロレベルで測定。

風化促進用岩石選定に資する苦鉄質岩DBの構築

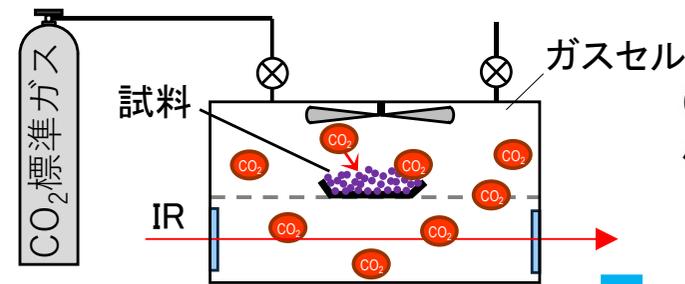


産総研シームレス地質図による日本の苦鉄質岩の分布

現地調査と岩石採取により苦鉄質岩の化学組成・鉱物組成データや採掘情報を加味した国内版のデータベースを整備。

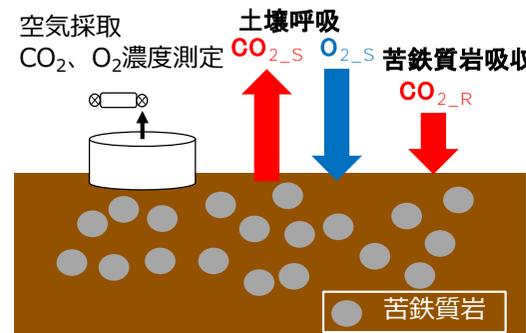
密閉した**試料室実験**、屋上での**長期岩石風化実験**、**土壌チャンバー実験**を行い、炭酸塩化の速度・固定量の測定を行う。

CO₂の炭酸塩化速度および固定量評価技術の開発



CO₂標準ガスを作成。固定化評価に適した濃度を使用

事業所屋上における1年以上の岩石風化実験



土壌散布時の苦鉄質岩CO₂吸収と土壌呼吸CO₂放出の分離評価



【2023~24年度の目標】

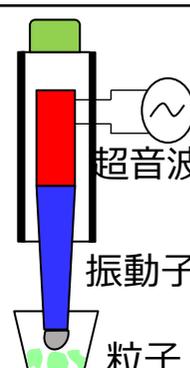
2023年度：複数個所の現地調査と岩石試料の分析結果等に基づいた、**プロトタイプ**の苦鉄質岩データベースの構築。**CO₂の炭酸塩化速度と固定量評価技術、CO₂濃度減少量測定手法**の開発。

2024年度：苦鉄質岩の現地調査と採石場情報を付加した苦鉄質岩データベースを完成。**反応性の低い苦鉄質岩の評価、炭酸塩化阻害因子の検討と炭酸塩土壌散布影響解析用の圃場における土壌チャンバー実験**の展開

- 超音波粉碎方法を用いて、粉碎に要するエネルギーを削減し、CO₂固定化コストを現状の半分以下に。
- 湿度、温度、CO₂濃度、pH、時間的要因変化による反応速度への影響解析、人為的な反応加速実現。

高効率超音波粉碎技術による風化促進高速化

粒径の微細化は風化促進に有効な手段。**高効率粉碎技術**は風化促進を実用化する上での一つの重要課題。

風化促進コストの7割が粉碎エネルギー	ボールミル	超音波粉碎機
玄武岩 粉碎 		
粉碎エネルギー (kWh/t-rock)	83	26

岩石 粉碎・運搬 溶解・鉱物化反応

- | | | | |
|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・分布 ・組成 ・鉱物種類 ・賦存量 ・不純物 ・有害元素 | <ul style="list-style-type: none"> ・コスト ・アクセス ・スペース ・手法 ・サイズ ・時間 ・エネルギー | <ul style="list-style-type: none"> ・水分量 ・温度 ・pH ・CO₂濃度 ・塩水 ・添加物 | <ul style="list-style-type: none"> ・不純物 ・細孔分布 ・結晶性、歪み ・共存イオン ・再析出 ・被覆妨害 |
|--|--|--|---|

反応系提案とフィードバック

人為的プロセスの現実系に近い実験データ：

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・従来型風化促進 ・反応促進法開発 ・CO₂吸収脱離 | <ul style="list-style-type: none"> ・pH調整。電解利用等 ・気液固接触改良 ・熱利用、等 |
|---|---|

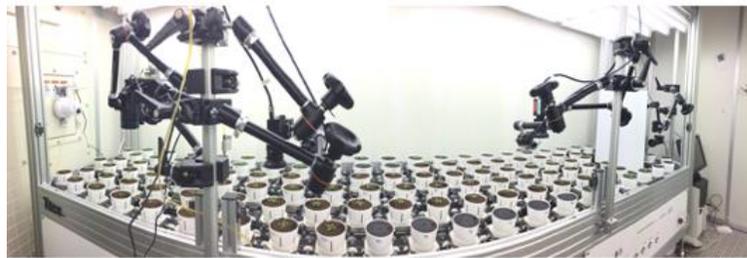
【2023～24年度の目標】

- 2023年度：**超音波粉碎機を用いて、従来粉碎方法と比較して**粉碎エネルギー50%減少、歩留まり40%以上**となる粉碎時間と周波数条件を得る。溶解および炭酸塩化の速度に影響する因子の明確化と反応手法の改良。
- 2024年度：**連続自動超音波粉碎装置の製作。溶解および炭酸塩化の速度、流出イオンと反応残存物の物質収支や消費エネルギーなどに関する各種実験情報を集積。

アカウントティング・低コスト化・利活用

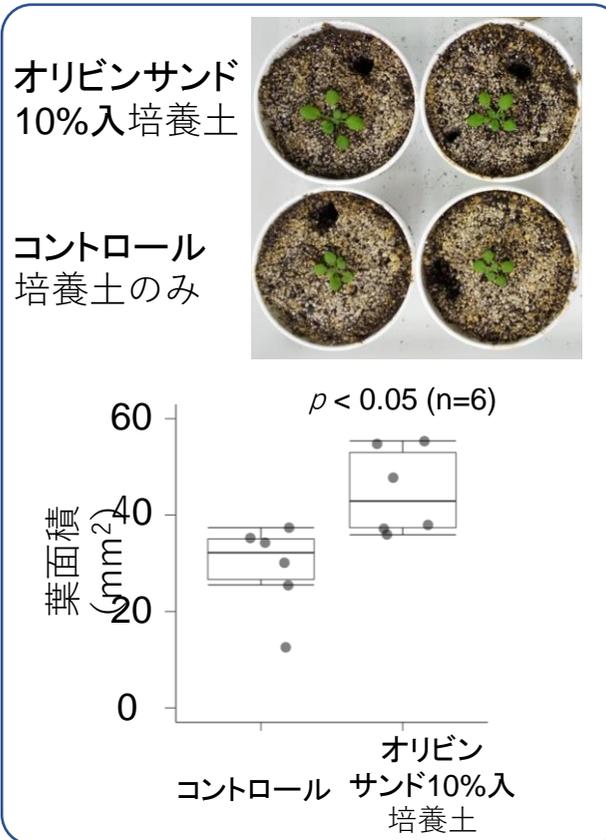
- 形状（粒子サイズ等）や岩質（苦鉄質岩、玄武岩）が異なる培土条件（含有量の違いによるミネラル分・pHの変化）または炭酸マグネシウム散布土壌での植物の光合成活性、成長速度等の指標を計測。
- 圃場環境でCO₂固定と微生物活性（細菌叢）を含めた土壌全体への効果を評価。

RIPPSによる苦鉄質岩・玄武岩・炭酸マグネシウム各々の散布下での植物生長の精密評価（屋内試験）



RIPPS (RIKEN Integrated Plant Phenotyping System)

モデル植物であるシロイヌナズナやトマトへの各岩粉散布による植物の生育や土壌環境の変化をリアルタイム観察



生育を最大にする散布条件の最適化

沖縄県宮古島（亜熱帯海洋性気候）



圃場試験：植物生育への影響と土壌へのCO₂固定効果（含連携）の解析



【2023～24年度の目標】

- 2023年度：シロイヌナズナとトマトに対する生育促進を最大化する粒状・施肥量条件で、RIPPSによる植物生育のリアルタイム観察を実施。圃場で植物生育と土壌微生物叢の変化の解析。
- 2024年度：炭素固定を最大化させる形状や岩質の岩粉を含む土壌でRIPPSによる観察を実施。生育促進を可能にする各種オミックス解析や光合成活性測定等の生理実験を実施。

研究開発5：風化促進システムのLCA/TEA評価ツール開発

アカウントティング・低コスト化・利活用

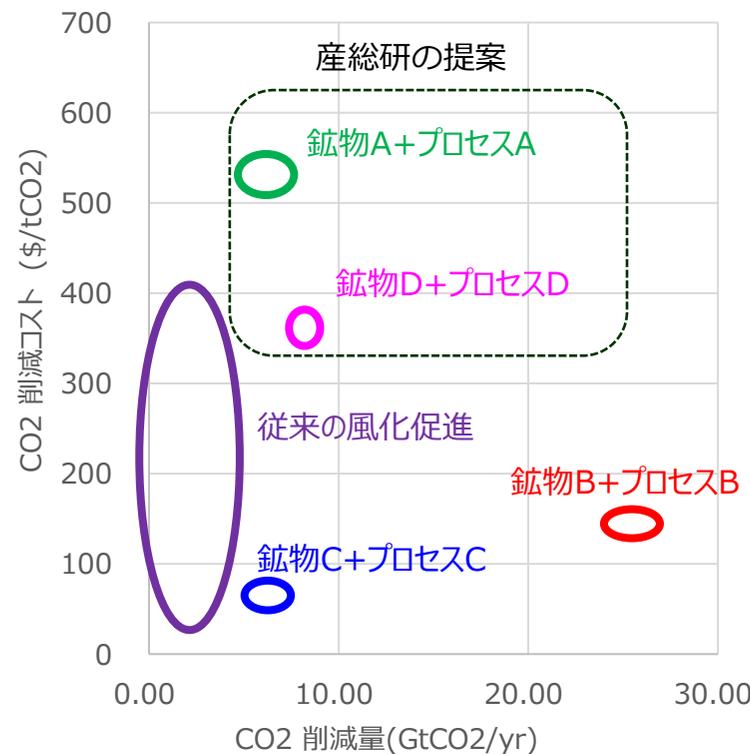
- CO₂吸収量等の時系列変化を考慮し、**将来シナリオに基づくLCA/TEAを行う評価ツール開発。**
- 利活用まで含めた炭酸塩粒度の**最適化**とコスト最小となる**トータルシステム設計。**

風化促進システム設計に向けたLCA/TEA評価ツールの開発

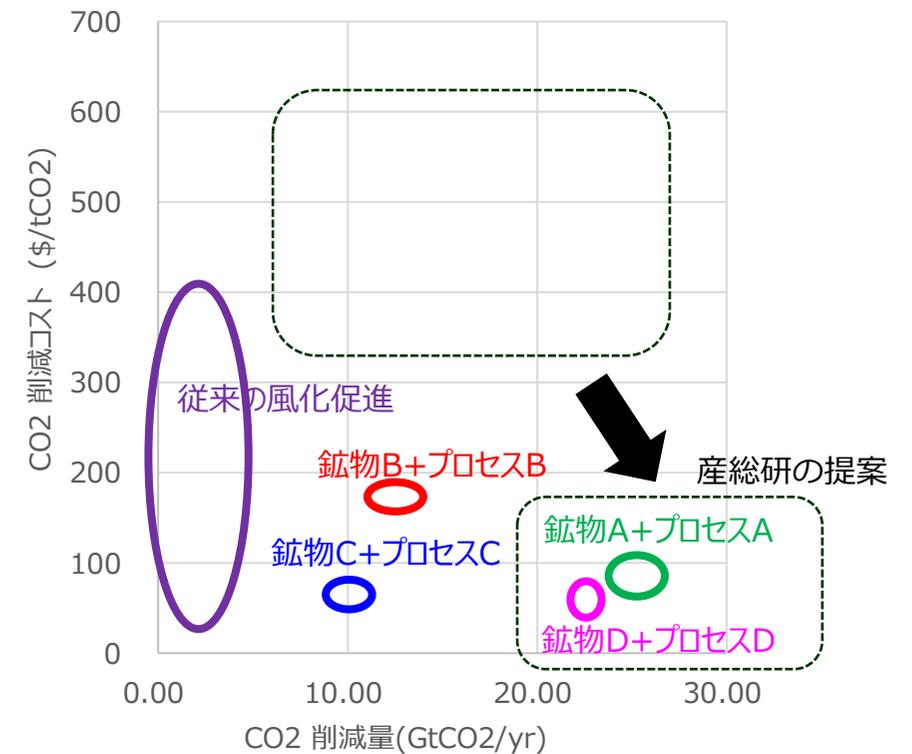
入力条件例
苦鉄質岩の組成、採掘量
炭酸塩の粒度、固定速度
、土壌散布面積、散布量

出力条件例
ライフサイクルCO₂排出量
CO₂削減量
CO₂削減コスト

2050年まで時系列で評価



2030年の評価結果



2050年の評価結果

LCA/TEA評価ツールによる評価結果

【2023～24年度の目標】

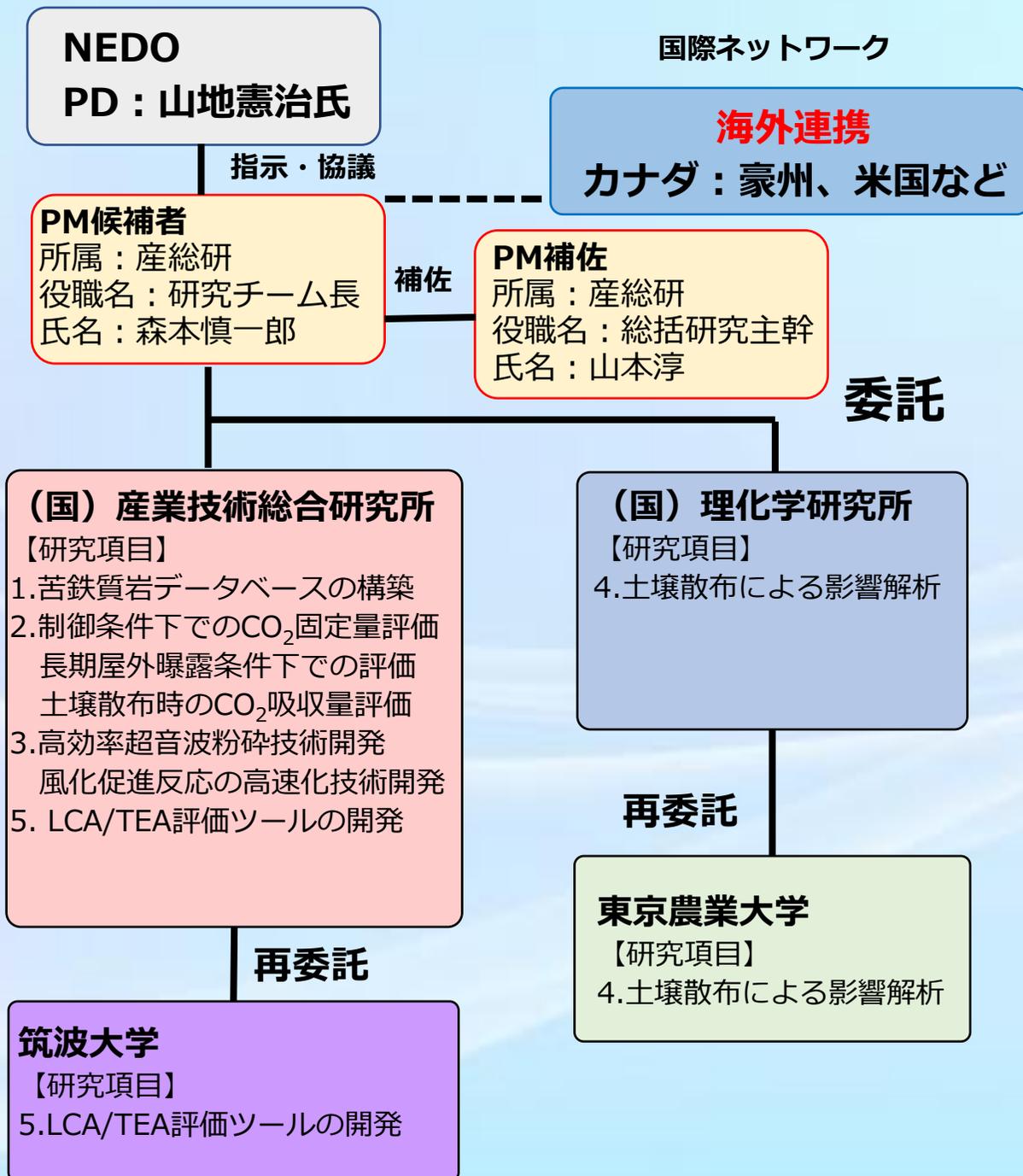
2023年度：風化促進システムのインベントリーデータを収集し、評価ツールの基本骨格を構築。
将来シナリオ構築に向けたPEST分析の実施。

2024年度：LCA/TEA評価ツールの構築と将来シナリオの作成。最適な風化促進システム導出に向けたケーススタディの実施。

研究体制とマネージメント

- 全ての評価・開発データをLCA/TEA評価ツールの入出力条件としてデータマネージメント。
- 風化促進プロジェクト委員会（PM補佐が運営）の構築と産総研運営各部署による支援。
- PM候補者が共同リーダーを務めるミッションイノベーションLCA/TEA分科会を中心に国際連携を展開。

研究体制



研究スケジュール

