

jh221006

## ビヨンド・"ゼロカーボン"を目指し地域と技術をつなぐ情報基盤の構築

兼松祐一郎（東京大学）

概要：地域のゼロカーボンとその先のありたい姿の実現に向けて、再生可能エネルギーやリサイクルなど新技術の導入計画における課題解決を目指し、本研究では情報基盤「RE-Code」を開発する。4つの主要ツール、View(需給分析)、Match(技術マッチング)、Sim(シミュレーション)、Value(評価)からなるWebアプリケーションとして提供し、技術導入計画の迅速化を目指す。Viewでは、主に木質バイオマスの伐採量推移や、市区町村エネルギー需要のデータを整備し、可視化ツールを試作した。Matchでは、データベース設計を行い、要素技術と技術パッケージの検索ツールを試作した。SimおよびValueでは、木質バイオマス地域熱電併給の事例について外部ユーザー向けプロトタイプを作成した。RE-Code全体の設計として、mdxの高速計算環境とセキュアストレージの活用や、仮想マシンとコンテナ機能を組み合わせたアーキテクチャとユースケースを検討した。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同利用・共同研究を実施している拠点名

mdx

※プラチナ＝「プラチナ社会」総括寄付講座

IFI＝未来ビジョン研究センター

ITC＝情報基盤センター

#### (2) 課題分野

データ科学・データ利活用課題分野

### 2. 研究の目的と意義

SDGs や脱炭素などの社会背景の中、ゼロカーボンの実現などの将来のビジョンや目標の表明を進める自治体が急増したが、専門人材や情報・知識の不足などにより具体的な技術導入の計画や推進には苦慮している地域が多い。例えば、再生可能エネルギー（再エネ）はゼロカーボン達成に向けたキーテクノロジーのひとつであるが、すでに普及している太陽光や風力による発電は変動性が大きく、さらなる再エネ拡大に向けては蓄電や調整力のある電源の組み合わせが必要である。さらに、電気のみならず熱の需要も化石資源からの脱却を図っていく必要がある。しかし、それらを実現する新規技術は導入対象となる地域側には十分な情報がなく、開発者からの情報発信の場も限られている。また、導入

#### (3) 共同研究分野

HPCI 資源を利用していないため該当しない

#### (4) 参加研究者の役割分担

代表者：兼松祐一郎（東大プラチナ※）…研究統括、ツール設計・開発

副代表者：藤井祥万（東大IFI※）…ツール開発

共同研究者：

菊池康紀（東大IFI）…手法開発

尾下優子（東大IFI）…手法開発

小林博樹（東大ITC※）…研究補助

三木洋平（東大ITC）…GPU実装等の助言

埴敏博（東大ITC）…GPU実装等の助言

工藤知宏（東大ITC）…システム設計の助言

効果の事前評価を行いたいとしても、データや専門知識、人材等の不足から、検討すら難しい状況である。データや情報の側面からのサポートとして、技術や地域の調査、導入検討に必要なデータ群の集積や、新興技術の導入効果に関する事前評価における情報処理のナビゲーションや自動化によって、脱炭素や資源循環に資する技術の地域への導入を大幅に加速していく必要がある。

本研究では、分散したオープンデータの統合や、新規技術情報の集積、地域資源と技術のマッチング、シミュレーション、技術評価におけるデータ処理の自動化や効率化により、先制的なライフサイクル設計・評価に基づく技術導入計画の高速化と省力化を図り、その推進を広く様々な地域で利用可能にすることで、だれもがゼロカーボンと豊かさを同時に享受できるインクルーシブな社会の実現につなげる。

本研究で開発する情報基盤を「RE-Code」と名付けた (RE = Region, Renewables, Resources, Recycle など、Code=Co-design, program code などの意味を包含)。RE-Code は、先述のような技術導入計画を、技術成熟度が低い段階から実行可能とすることで技術の社会実装を加速するデータプラットフォームであり、「需給分析」「技術マッチング」「シミュレーション」「評価」の各機能を実現するツール群とそれらが使用するデータを蓄積したデータベースから構成する。設計思想として、エンドユーザサイドでは汎用的な Web ブラウザとネットワークさえあれば活用可能なウェブアプリケーションを目指す。

### 3. 当拠点の公募型研究として実施した意義

本研究で開発を目指す情報基盤は、当拠点への応募以前から開発を開始していたが、ライフサイクル評価 (LCA) や、個別の資源・エネルギー関連のプロセス技術等の開発を専門とするメンバーによって構成されており、情

報科学や情報システム開発の専門家がない研究グループであったが、当拠点への応募を契機に、情報基盤センター等のデータ利活用の専門家との共同研究が可能な体制を構築できた。

さらに「データ活用社会創成プラットフォーム mdx」の新たな応用分野としての期待も mdx 開発・運用グループより寄せられており、稼働環境としての検証も兼ねながら、開発したプログラムやそのプロトタイプの mdx 上での稼働や、データの収集や処理における mdx の活用などを行い、mdx 開発グループへもユーザー視点のフィードバックを行っていく。mdx の特徴として、以下 3 点が挙げられている。

- ① 仮想化技術を用いてプロジェクトごとに分離された、プライベート環境 (仮想プラットフォーム) を提供し、プライベート環境はプロジェクトごとに柔軟に環境構築・設定が可能で、各プロジェクトに必要なソフトウェアスタックを導入できる。
- ② mdx 上で、分野データプラットフォームサービスなど、連続稼働が必要なサービスを運用することが可能。
- ③ 共通データやオープンデータの mdx 上への整備や、有償データの一括契約などを促進し、機械学習やデータマイニングが即座に行える環境を継続的に構築できる。

mdx の特徴は RE-Code の開発コンセプトとの親和性が高く、各項目と対応した開発方針として、以下を検討している。

- ① 地域や企業などの組織やプロジェクト別にプライベート空間を仮想的に用意し、データを秘匿したまま RE-Code の機能を活用可能とする。
- ② mdx を RE-Code の常時稼働環境として活用する。
- ③ 公開可能なデータは mdx を通してオー

プンデータ化し、同時にデータと連携した計算環境を提供する。

以上のように JHPCN 拠点の公募型研究として実施したことで、mdx の特徴を活用した RE-Code の開発を進められるようになった。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

継続課題ではないため該当しない

5. 今年度の研究成果の詳細

RE-Code は、図 1 に示すように、以下の 4 つの主要ツールから構成する設計としており、各ツールについて成果を記載する。

- RE-Code View: 需給分析ツール
- RE-Code Match: 技術マッチングツール
- RE-Code Sim: シミュレーションツール
- RE-Code Value: 評価ツール

■RE-Code View:需給分析ツール

本ツールは、申請時点で資源ポテンシャルと再エネ設備導入状況のデータについて、開発中のプロトタイプにおいて現在の日本における状態が可視化できるようになっていたが、本研究では将来推計とその可視化の機

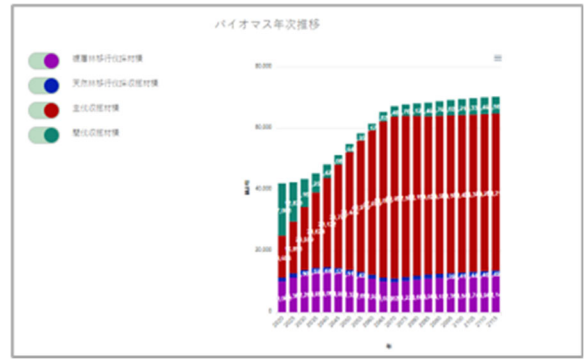


図 2 木質バイオマスの長期伐採量推移

能を重点的に開発した。特に木質バイオマスについては、日本全国共通の森林の課題でもある高樹齢木が蓄積した状態から均整の取れた樹齢分布に誘導しながら木材を伐採していく必要がある。そのような林業の将来計画を考慮した伐採量シミュレータを開発し、結果をデータベースとして整備した。都道府県単位では現在の齢級分布データが公開されているが、これを基礎自治体単位で公開しているのはごく少数である。そこで、まずは都道府県単位のシミュレーションを実施し、次に、多くの自治体が公開している民有林・人工林の面積比率のデータを収集し、都道府県単位での推算結果を按分する形でこれらを求めた。グラフ表示のためのウェブ UI も試作した (図 2)。

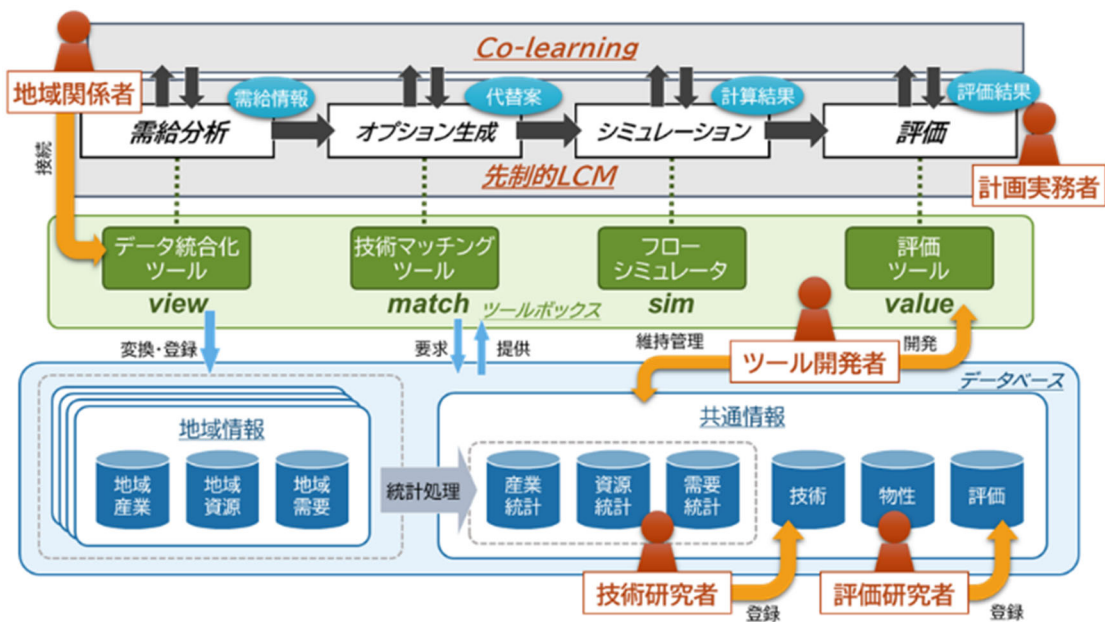


図 1 RE-Code の概要と構成要素

また、上記は供給サイドの情報であり、技術マッチングにつなげるためには需要サイドの検討が必要となる。そこで、需要サイドに関しては、都道府県単位ではエネルギー消費統計が存在するが、地域設計のスケールとして必要となる市区町村単位のもの整備されておらず、産業統計などを駆使してこれを推算し、全市区町村の結果をデータベースとして整備した。複数自治体の合計値も算出できる機構とした。

このエネルギー消費実態の情報はサンキー線図で表現され、これまでに既存ツールを用いた可視化を行ってきたが、RE-Code はユーザー側では全機能をウェブブラウザ上で利用可能とする方針であることや、産業等から発生する未利用熱の活用時に発生する再起フローと有向フローの表現、セクター別の色表現の指定などに関し、全てをカバーしているものは既存ツールには発見できていなかった。そこで、利用可能なツールやライブラリを改めて調査し、有力なツール／ライブラリの特定と、それらを用いたプロトタイプングを実施した。計 14 種のツールとライブラリを調査し、結果として、描画の柔軟性やウェブ組み込みへの相性、ライセンスのオープン性を考慮して、「Plotly」を有力候補として仮選定した。次いで、Plotly を用いて基礎自治体別エネルギー消費統計を描画可能なプロトタイプを構築した(図 3)。また、現状の基礎自治体別エネルギー消費統計では再



図 3 エネルギーフロー可視化ツールのプロトタイプ

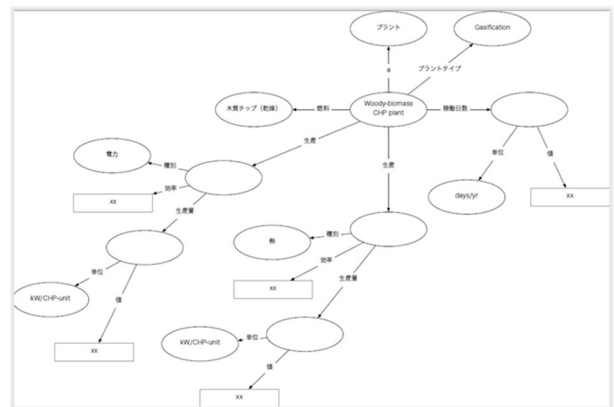
起フローは発生しないが、未利用熱活用時に発生する再起フローが表現可能であるように留意して開発した。

### ■RE-Code Match: 技術マッチングツール

「技術マッチング」ツールでは、地域資源と技術の効率的なマッチングを可能とする DB 構造とクエリ的设计が必要となる。技術データについて代表的なものや、当グループが実績のある技術について、DB コンテンツとしてデモデータを用意し、試験的に実装を行い、検索機能の開発に着手した。

最初に、地域資源情報と装置等の入出力物質情報を紐づけるためのデータベース構造を検討した。具体例として、木質バイオマスを用いた地域熱電供給システムに関連する

(a)



(b)

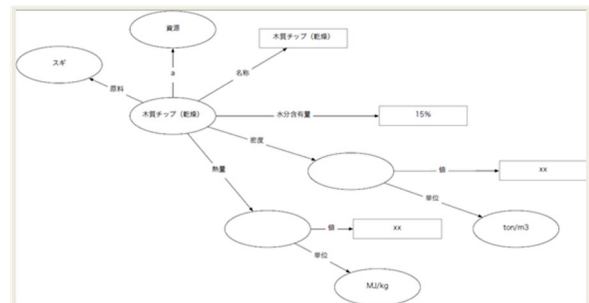


図 4 木質バイオマス地域熱電供給に関する資源・装置情報の RDF 表現: (a) エネルギープラント、(b)燃料 の例

資源や装置の情報について、オープンデータ活用やオープンデータ化を考慮して、RDF (Resource Description Framework) を用いて整理した (図 4)。このようなモデリングにより、各要素技術に関して、関連する技術や資源の要素や各要素間の関係性、データの構造を示すことができ、技術情報をシミュレーションにも応用可能な形で蓄積、再利用していくためのデータベース構造の設計指針となる。

デモデータを用いた検索機能の実装検討として、基本的な要素技術の検索や「技術パッケージ」 (=複数技術の組合せ) の提示を行うためのインターフェースを試作的に構築した。このプロトタイプでは要素技術および技術パッケージの検索、タグによる絞り込み、指定した技術パッケージに含まれる要素技術の検索、指定した要素技術を含む技術パッケージの検索などが可能となった (図 5)。

現状では、特定の地域資源を利用可能な技術を検索する場合にはタグによる絞り込みのみが可能であるが、複数のプロセスを経て最終製品が生産される技術システムにおいては、将来的には上記のようなデータモデルを参照して、出発物質を指定すれば自動的にその生産プロセスに対応した技術パッケージが生成され提案できるように機能改善を進める予定である。

**RE-Code Sim: シミュレーションツール**  
**& RE-Code Value: 評価ツール**

「シミュレーション」「評価」に関しては、申請時点での当グループの実績として、木質バイオマス熱電併給やゼオライト蓄熱輸送など、再生可能エネルギーや蓄エネルギーの事例を中心として、個別事例のシミュレータと評価ツールを複数開発済みであったが、開発者グループ自身以外による利用がやや難しく、形式も統一されていなかった。本研究

(a)



(b)

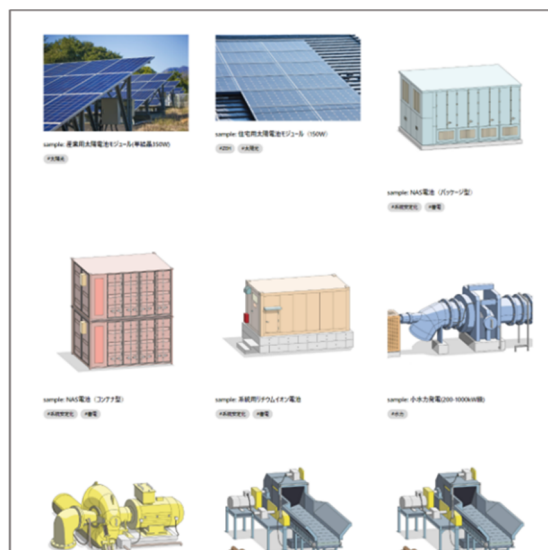


図 5 技術検索機能の試作版: (a) 技術パッケージ、(b) 要素技術

では、上記実績のうち、特に木質バイオマスによる地域熱電併給の事例に関して、外部ユーザーも利用できる形式へのプロトタイプングを実施した。

具体的にはExcelで構築されていたツールを Python プログラムに移植し、クラウド環境においてユーザーサイドのウェブブラウザからの指令に対して、サーバー上で計算プログラムを実行し、ブラウザへ計算結果を返すことを想定したプログラミングを実施した。この形式での計算実行は実現できていな



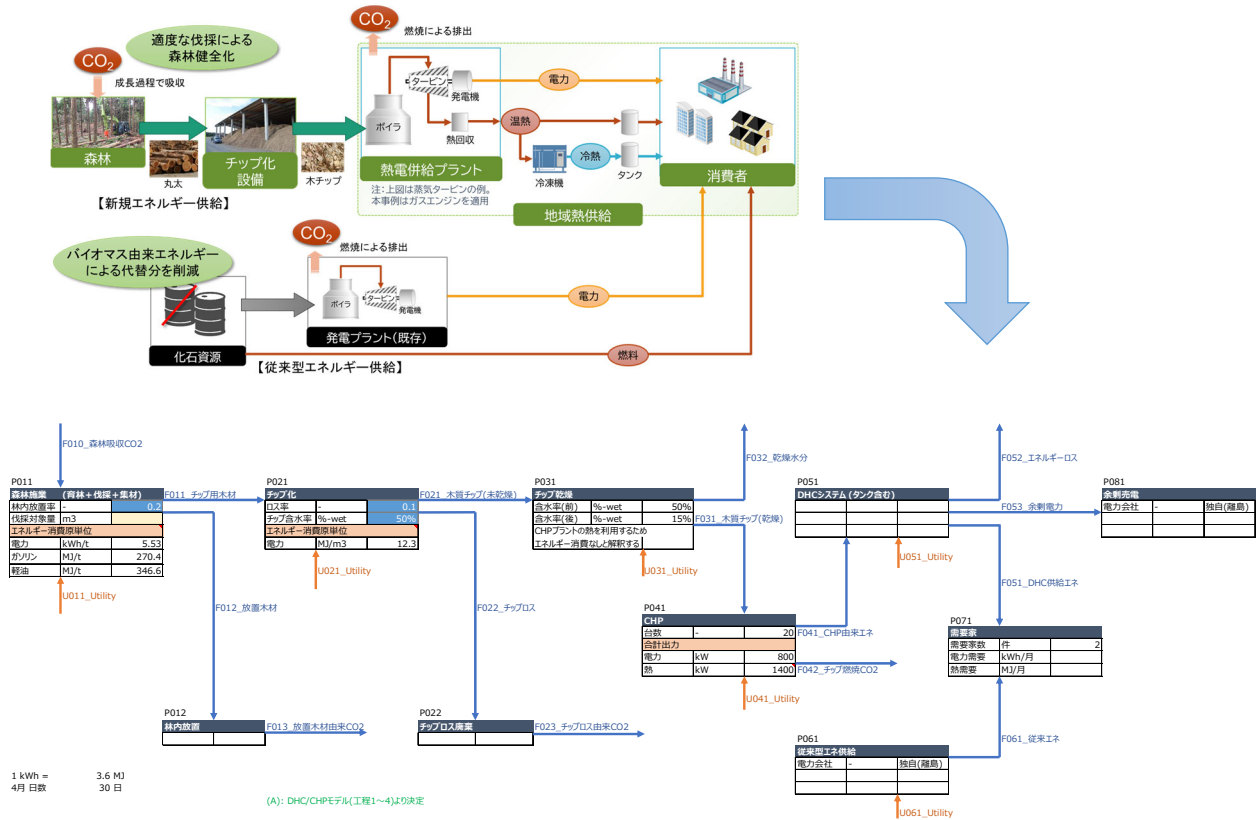


図 6 フローシーティング：木質バイオマス地域熱電併給の例

いが、それを想定した形での Python への移植を完了している。現時点では単一のプログラムとして、複数の装置モデルが内包されている形となっているが、要素技術の組合せシミュレーションを実現するために、装置クラスや資源クラスなどを定義して、モジュール分割とモジュール間接続用 API の検討を進めている。

加えて、要素技術をノードとして、その間をフローでつないだシステムモデルを UI 上で構築するためのフローシーティング (図 6) が必要であるが、ウェブブラウザ上での実現に向けたライブラリ調査とプロトタイピングを実施した。技術データベースとの連動が実現できていないが、ノードの設置とフローによる接続について基本的な技術パッケージ構成をウェブブラウザ上で描画できることを確認した。

### RE-Code 全体設計

本研究の開始までは RE-Code を稼働させる情報インフラ環境に関しては方針が検討できておらず、試作版は商用クラウドサービス上で稼働させていたが、本研究の開始後は情報系研究者との連携によって、mdx の活用を本格的に検討できるようになった。mdx の利用を想定して、mdx 内/外での実行プロセスや利用データの切り分け、各プロセス間のデータトランザクションなどを検討し、図 7 のように整理した。mdx は高速計算環境とセキュアなストレージを兼ね備えており、計算を担うモジュール類は mdx 計算環境を利用し、ユーザーサイドからの指示に対して結果を返すことを想定した。一方で、ユーザーが直接触れるインターフェースに関しては、サーバー側のメンテナンス等を考慮すると、mdx 外の一般インターネット上からアクセスしやすい商用クラウドサーバー環境で稼働させるのが適切である可能性がある。

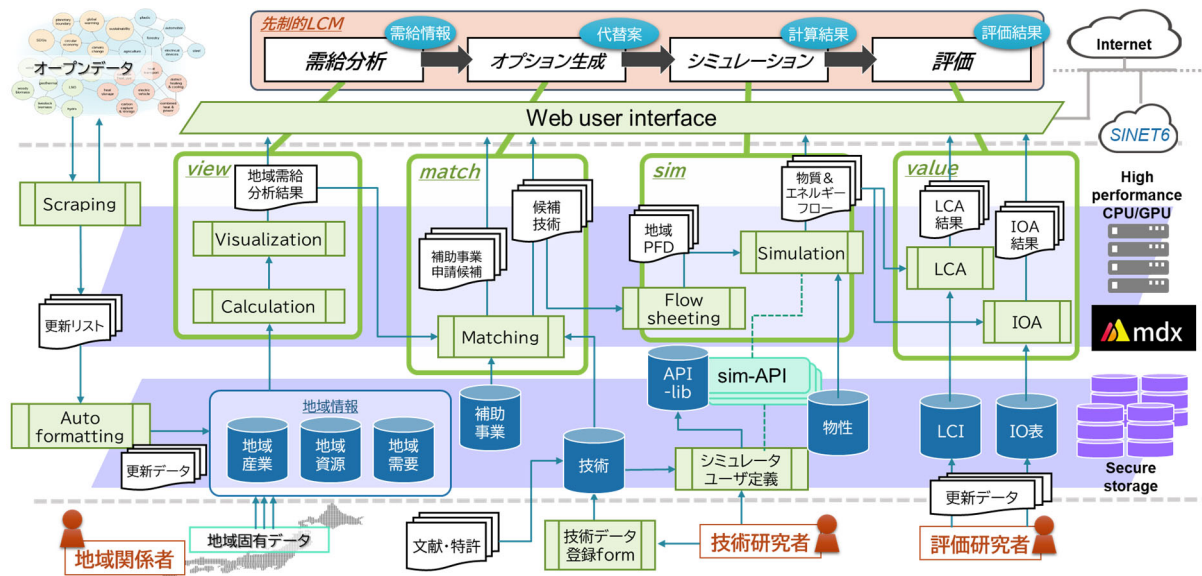


図 7 RE-Code の機能別モジュールと mdx 連携

mdx ではユーザー領域を他の mdx ユーザーが使用するネットワークから独立した形で確保することができ、データ漏洩や攻撃の影響の拡大のリスクを抑えることができる。地域や企業から収集した秘匿性を伴うデータは mdx のセキュアストレージ上で、供給者以外は閲覧できないようにしつつ、内部的に計算を実行し、計算結果のみ外部ユーザーも利用可能とする、などの方法を検討した。上記のアイデアの具体的な実現方法に関しては今後検討していく。

また、mdx では仮想マシン単位での増設や切り分けとコンテナ形式での提供を組合せ、使い分けることができる。ユーザー単位もしくはプロジェクトやグループ単位でいずれの形式をとるべきか、性能とリソース制約の両面から検討した。現状の案としては、mdx 稼働環境一式を複数の仮想マシンで構成し、そのコピーをバージョンアップ後に本番環境として入れ替えることで、切れ目なく安全に最新の稼働環境を提供する。プロジェクトや組織の単位ではコンテナ単位での環境を提供するようにし、組織内のユーザーはグループ ID に紐づいたアカウントで管理する、といった方法を検討している。

## 6. 進捗状況の自己評価と今後の展望

RE-Code を構成する主要な個別ツールの開発に関して、View (需給分析) と Match (技術マッチング) ではプロトタイプを構築することができ、申請時の予定通りに進捗した。Sim (シミュレーション) と Value (評価) においては、mdx 上での稼働には至らなかったものの、mdx を利用したシミュレーションと評価の基盤としての基本設計を着実に進めることができ、今後の開発方針を固めることができた。

また、RE-Code の全体設計として、mdx を基盤として活用するという方針をこの研究を通して固めることができたため、具体的なアーキテクチャ設計を進めることができた。構築済みプロトタイプを mdx 上で稼働させるための準備や、情報処理の負荷が比較的高くなるようなテストを mdx 上で実施するなど、徐々に mdx の利用体制が整ってきている。

今後、下記のような方針で各ツールを開発していく。

View (需給分析): コンテンツの充実化とともに、本番環境への新規コンテンツの反映をスピーディかつ柔軟に行えるような仕組みを整えていく。

Match (技術マッチング): 技術情報を技術開発者らのユーザーサイドから行えるようなデータ登録システムを整備し、コンテンツの充実化を図る。また、資源情報をキーとして、その資源を活用可能な技術パッケージを提案できるリコメンド機能を AI 活用も視野に入れて開発する。

Sim (シミュレーション): まずは現在すでに開発に着手している木質バイオマスによる地域熱電併給の事例に関する計算がユーザー側でも実施できるようにしつつ、多様な技術タイプに対応できるような共通プログラム構造を規定し、他の技術にも応用範囲を広げていく。

Value (評価): Sim 同様に木質バイオマスによる地域熱電併給の事例に対応した評価結果の計算と可視化を行えるようなウェブアプリケーションプロトタイプを構築する。

以上により、RE-Code の主要機能をひととおり体験できるようなデモンストレーション環境を整え、mdx 上で稼働させる。候補ユーザーや共同研究者からのフィードバックを得ながら、機能改善と拡張を進めていく。

## 7. 研究業績

### (1) 学術論文 (査読あり)

なし

### (2) 国際会議プロシーディングス (査読あり)

なし

### (3) 国際会議発表 (査読なし)

- [1] Y. Kanematsu, S. Fujii, Y. Kikuchi, 'Design and development of data platform to accelerate regional system planning based on prospective LCA', The 15th Biennial International Conference on EcoBalance, Fukuoka, November 2022

### (4) 国内会議発表 (査読なし)

- [1] 兼松祐一郎「ビヨンド・"ゼロカーボン"を指し地域と技術をつなぐ情報基盤の構築」JHPCN 第 14 回 シンポジウム、2022 年 7 月 7 日ー7 月 8 日 東京コンファレンスセンター・品川
- [2] 【依頼講演】兼松祐一郎「地域の脱炭素と資源循環に向けた技術導入を加速するデータプラットフォームの開発」第 51 回スーパーコンピューティング技術産業応用協議会(産応協)セミナー、2022 年 8 月 29 日、オンライン
- [3] 【依頼講演】兼松祐一郎「データプラットフォーム「RE-Code」で目指す地域資源循環技術の社会実装の加速化」Hitachi アカデミックシステム研究会(HAS 研)第 47 回研究会、2022 年 9 月 26 日、オンライン
- [4] 【依頼講演】兼松祐一郎、尾下優子「RE-CODE:ビヨンド・"ゼロカーボン"の社会実装を支援・加速する情報基盤」データ活用社会創成シンポジウム 2022、2022 年 12 月 20 日、オンライン

### (5) 公開したライブラリなど

- [1] 地域と技術を繋ぎ、実装を加速する情報基盤 RE-Code (<https://re-code.app/>)

### (6) その他 (特許, プレスリリース, 著書等)

なし