

分散型水素エネルギーシステムの設計/ 制御AIの構築による社会実装加速

官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)

「AI 技術領域」

令和 4 年度成果

令和 5 年 3 月

文部科学省

資料1 「分散型水素エネルギーシステムの設計/制御AIの構築による社会実装加速」の概要

アドオン額：73,125千円(文部科学省)

元施策・有/PRISM事業・新規

課題と目標

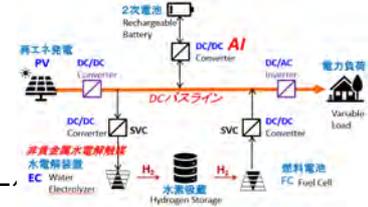
- (課題) 2021年に行われたCOP26において気温上昇を1.5℃に抑える目標が採択されるなど、エネルギー転換推進が求められる一方で、自然エネルギーを主力電源とするためには、天候変化による変動をいかに安定化するかが課題となっている。
- (目標) 自然エネルギーの有効活用・安定利用を可能にし、温暖化ガス排出削減に貢献する。また自然エネルギーによる自立的な電力供給システムの実現により、災害対応・BCP対応、集落等での自立電源確保に寄与する。

「分散型水素エネルギーシステムの設計/制御AIの構築による社会実装加速」の概要

■ 元施策：文部科学省 国立研究開発法人理化学研究所運営費交付金 光量子工学研究事業費 (R4年度当初予算：995,531千円)

■ PRISMで実施する理由：
デジタルツイン・AIによる水素システムの最適設計/制御の実現によって社会実装を加速するため、PRISMで実施する。

■ テーマの全体像：
自然エネルギー発電電力を独立した安定電源として使用するため、理研で独自開発した分散型水素エネルギーシステムの社会実装に向けて、環境条件、設置場所と設置目的に対して最適化されたシステム設計/制御のためのデータの構築を実施する。



出口戦略

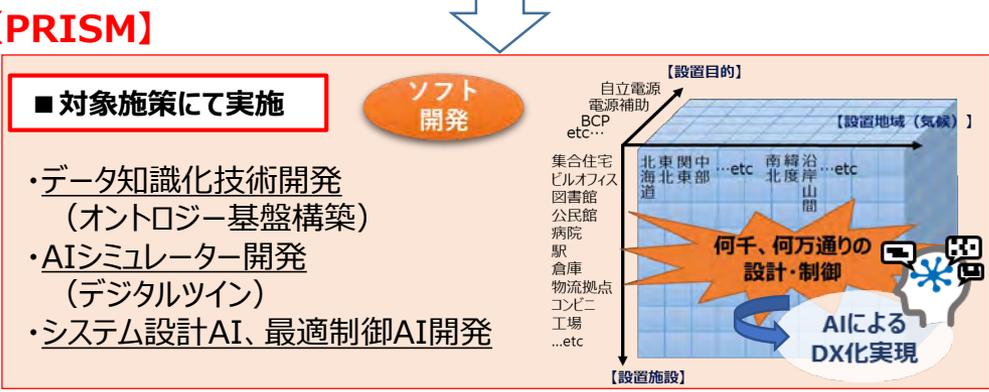
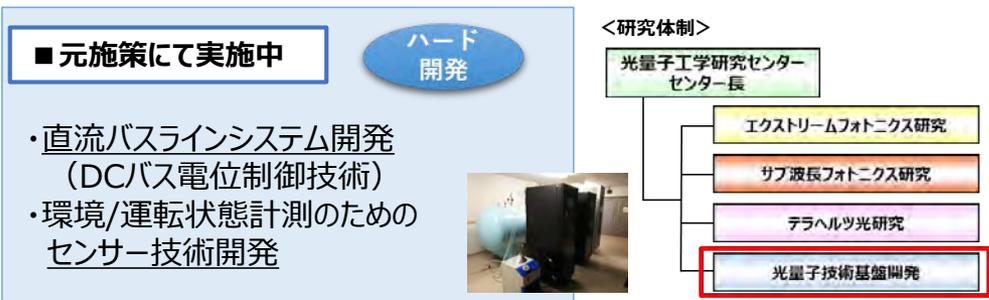
一元的なデータ連携基盤を活用したデジタルツインの実現により、地域・目的ごとに分散型水素エネルギーシステムの最適設計を行うことで、同システムの社会実装を進める。さらに、社会実装後のデータを蓄積し、環境/実使用シミュレータを高度化することで、全体のサイクルを加速する。導入先としては研究施設の他に、集合住宅、病院等公共施設、企業オフィス、離島や地域の養殖・植物工場などを想定しており、水素利用先の拡大に加えグローバルな水素社会実現における日本のリーダーシップへの貢献も可能となる。

民間研究開発投資誘発効果等

- 本施策で分散型水素システム導入の最初のハードル（有用性の検証、開発コスト等のリスク）が低減されることにより、民間投資誘発効果として3億円以上（データベース/シミュレータ使用料：約2億円、共同研究費：約1億円）が期待される。
- 民間からの貢献額：1年間で総額22,000千円相当
 - ・AIシミュレータと設計・制御AIの高度化 14,000千円
 - ・データ基盤、AIシミュレータと設計・制御AIの技術指導及び実証実験 8,000千円
- 出口企業：(株)トヨタテクニカルディベロップメント、(株)セック、(株)アツミテック、(株)メグレナジー、(株)フジタ、(株)ASTOM、ITC(株)等を想定

アドオン（文部科学省）：73,125千円
 元施策名：国立研究開発法人理化学研究所運営費交付金
 光量子工学研究事業費 995,531千円

【元施策事業概要】
 高精度レーザーによる革新的な計測・制御技術等の研究開発
 ※下図赤枠の研究領域にて分散型水素エネルギーシステムの研究開発を実施

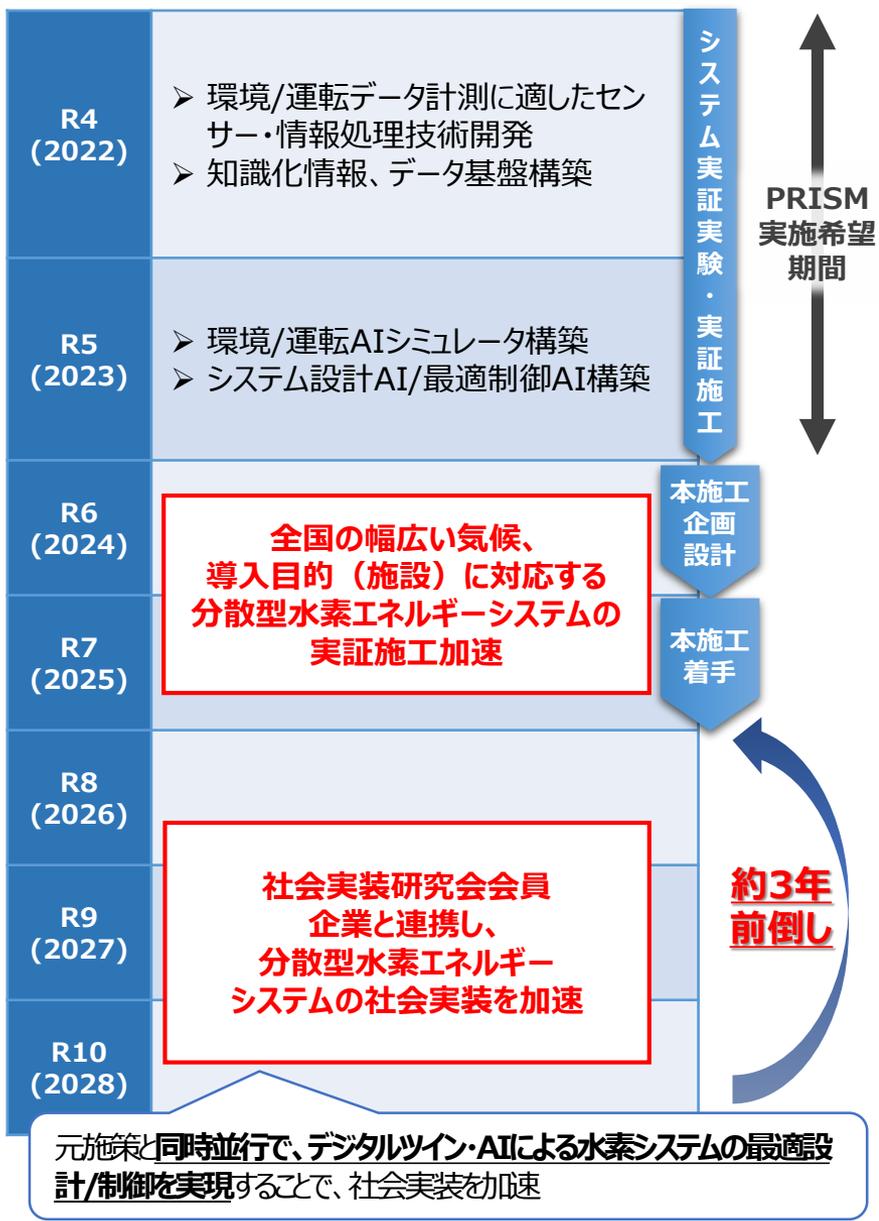


PRISMなし パターンに応じた設計・制御を一つ一つの手で構築 ⇒社会実装に遅れ

PRISMによる加速

- ✓ 環境や導入目的と整合した設計/制御を迅速・的確に提案する手法を確立 ⇒ **実用化を加速**
- ✓ データ基盤構築によるオープンプラットフォーム化、企業の利用・導入促進 ⇒ **民間投資誘発効果に期待**

【開発のイメージ】



資料3 「分散型水素エネルギーシステムの設計/制御AIの構築による社会実装加速」の目標達成状況

○施策全体の目標
 分散型水素エネルギーシステムの社会実装を目的とし、①環境/運転状態計測のためのセンサー関連技術（特に情報処理技術）の開発、②収集したデータを用いたデータ基盤構築、環境/運転AIシミュレータ構築とデジタルツイン実現、③設置施設と使用目的に最適な分散型水素エネルギーのシステム設計AI・最適制御AIの開発を実施する。

事業名等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況
①情報処理技術開発	データ基盤、シミュレータ構築のための必要な要素データ群、およびデータ取得法の検討により、現場からのデータ取得および蓄積可能なシステムを構築する。さらに、シミュレータの変動パラメータを決定する。	装置の最適化・データ収集を行うための装置改造、 1. エネルギー収支の把握 2. 水素貯蔵方法変更とそのエネルギー収支 3. データ収集・AI制御へ向けたソフトウェアについて、仕様を決め、装置改造を実施した。また実用化を見据えて設置を行った水素貯蔵合金ボンベについて、利用時の温度特性を取得した。
②データ基盤・AIシミュレータ構築	データの種類、階層構造の設計により、実データを収納することができるデータ基盤の構築を行う。さらに、それらのデータをシミュレーターが利用できるようにするためのAPIを構築する。	データ統合の核となるシステム構成及びセンサーのメタデータについて、メタデータ記述語彙としてクラス（概念）やプロパティ（概念間の関係を記述するもの）を表計算ソフトウェアを用いて整理・列挙した。さらにここで取りまとめたデータをセマンティックウェブデータ(RDF)に変換する、データ変換器の実装が完了し、本プロジェクト専用で作成した理研メタデータベースに登録した。これにより、シミュレータ等のプログラムからSPARQLと呼ぶクエリ言語を通じてメタデータの検索、取得が可能となった。
③システム設計AI・最適制御AI構築	システム設計AI・最適制御AIは、個別の要素ブロックに分類し、要素ブロックごとの設計・最適化の構築を行う。	システム設計AI・最適制御AIの基盤となるデジタルツイン環境について、エネルギー制御（EMS）シミュレータを構築し、実用化へ向けた検証・改良を実施した。また、装置特性を考慮したモデルの実装手法を検討し、特に化学的反応の要素が大きい水電解セルの電気的取扱いについて詳細解析を実施した。 システム設計AIについては、コストを目的関数としたAIを試作し、評価・課題整理を実施した。 最適制御AIについては、要件整理、必要データ、要素技術の分析を行い、データの機序、適用可能なAI手法の検討・一部試作評価を実施した。

グループ1：情報処理技術開発

1. エネルギー収支把握のための改造

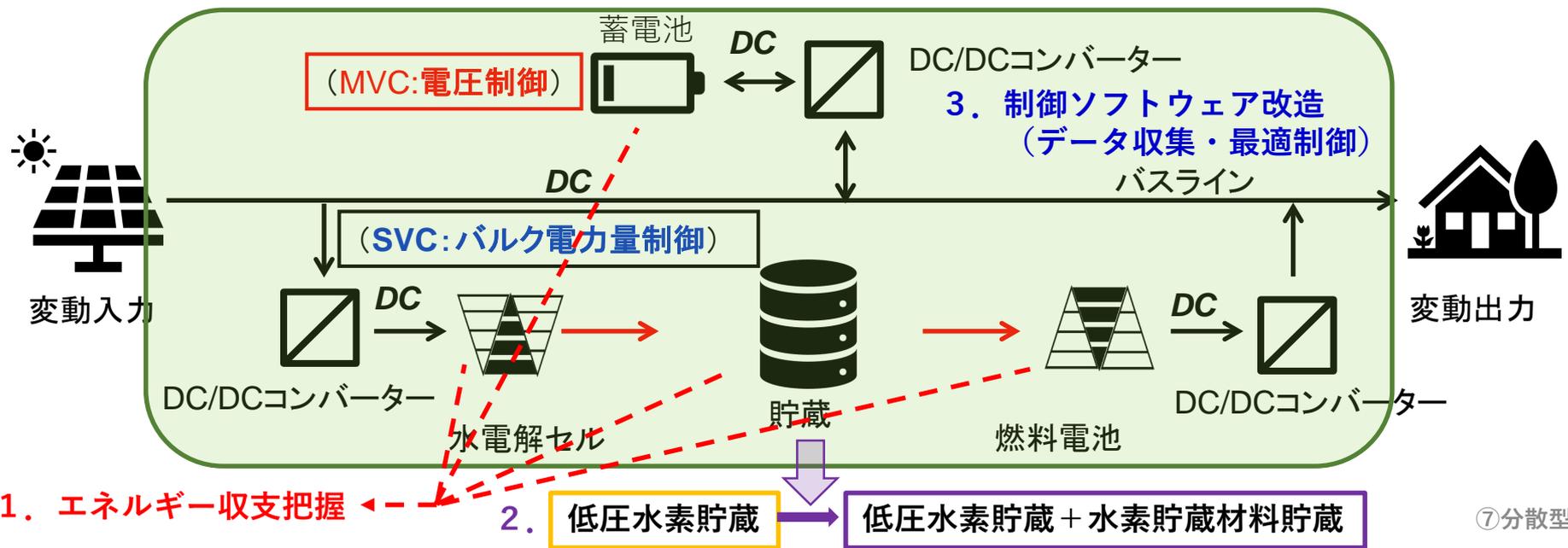
システム全体の制御データに加え、これまで測定していなかった熱収支を把握するためのデータ項目を決定・改造を実施した。本システムのデバイス効率 $\neq 100\%$ ではなく、入力エネルギーの半分程度が熱となるため、エネルギーを無駄なく利用するために熱利用が非常に重要視される。正確な熱収支の情報は装置設計時にも必要である。

2. 水素貯蔵方法の追加・変更

現在のシステムの水素貯蔵は最も安価となる低圧水素貯蔵で行っている。低圧水素貯蔵は非常に大きな空間を使うため、実設置の場合は水素貯蔵材料（水素吸蔵合金）利用も想定されている。水素吸蔵材料は水素吸収の際に発熱、放出の際に吸熱を行い、水素需給制御に温度制御が必須となるため、水素貯蔵材料利用時のエネルギー収支把握に向けた項目決定・改造を実施した。また、水素貯蔵材料の熱特性は別途データ取得を行った。

3. 制御ソフトウェアの改造

本制御対象はマクロ指示が可能でAI制御に適しているため、システム制御データだけでなく、熱収支データ把握やAI利用可能なデータ出力も考慮した制御ソフトウェアの導入を実施した。エネルギー貯蔵量や故障を予測し、効率的な運転を行うにはAIデータベースやAI制御が不可欠であり、必要なデータ構造を考慮したソフトウェア改造を行った。

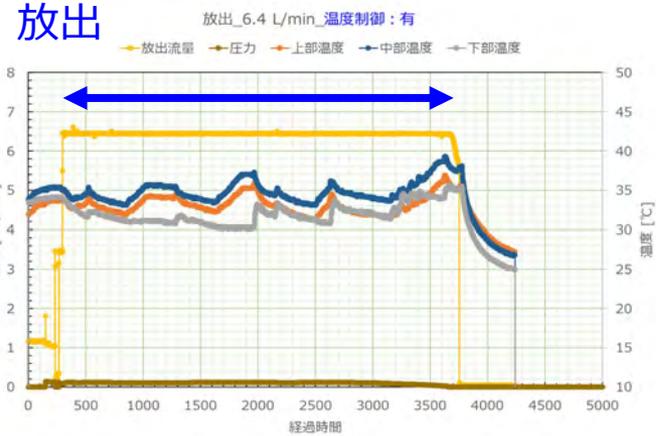
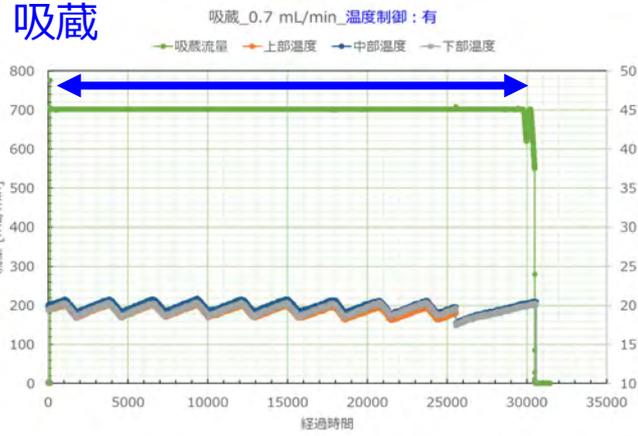


資料4 「分散型水素エネルギーシステムの設計/制御AIの構築による社会実装加速」の成果

グループ1：情報処理技術開発：水素吸蔵合金の熱マネジメント必要性

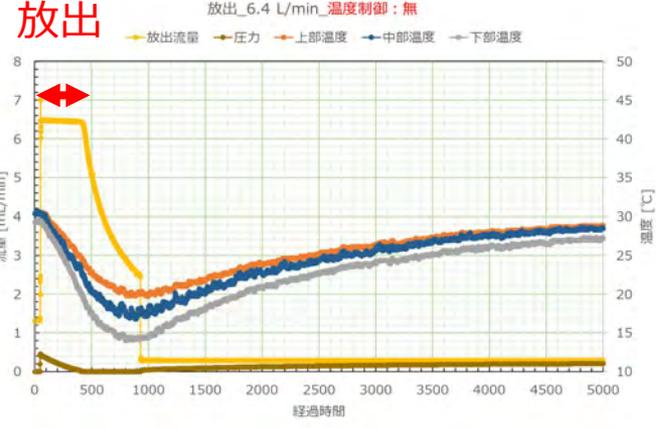
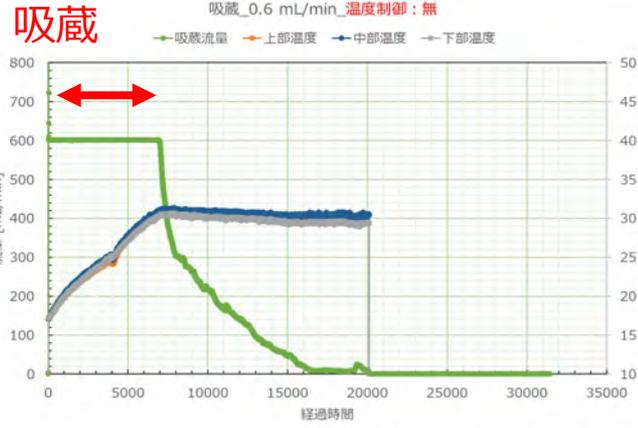
水素吸蔵合金タンク容量：1000 L

温度制御…有



吸蔵		
流量 [L/min]	吸蔵時間 [min]	吸蔵量 [L]
0.7	505	352.3
放出		
流量 [L/min]	放出時間 [min]	放出量 [L]
6.4	58	364.7

温度制御…無



吸蔵		
流量 [L/min]	吸蔵時間 [min]	吸蔵量 [L]
0.6	117	70.0
放出		
流量 [L/min]	放出時間 [min]	放出量 [L]
6.4	7.7	47.7

吸蔵：温度制御を行わないと吸蔵合金温度が上昇し水素吸蔵が停止
 放出：温度制御を行わないと吸蔵合金温度が下降し水素放出が停止

水素吸蔵合金での水素吸蔵・放出には熱制御・熱の有効活用が必須となる

グループ2：データ基盤・AIシミュレータ構築…データ基盤構築に必要なメタデータとオントロジーの開発

【短期目標】 フィジカル／ハードウェア（実システムおよび計測データ）、サイバー／ソフトウェア（シミュレーション空間）を統合し、制御も含めて総合知識ベースを構築する。

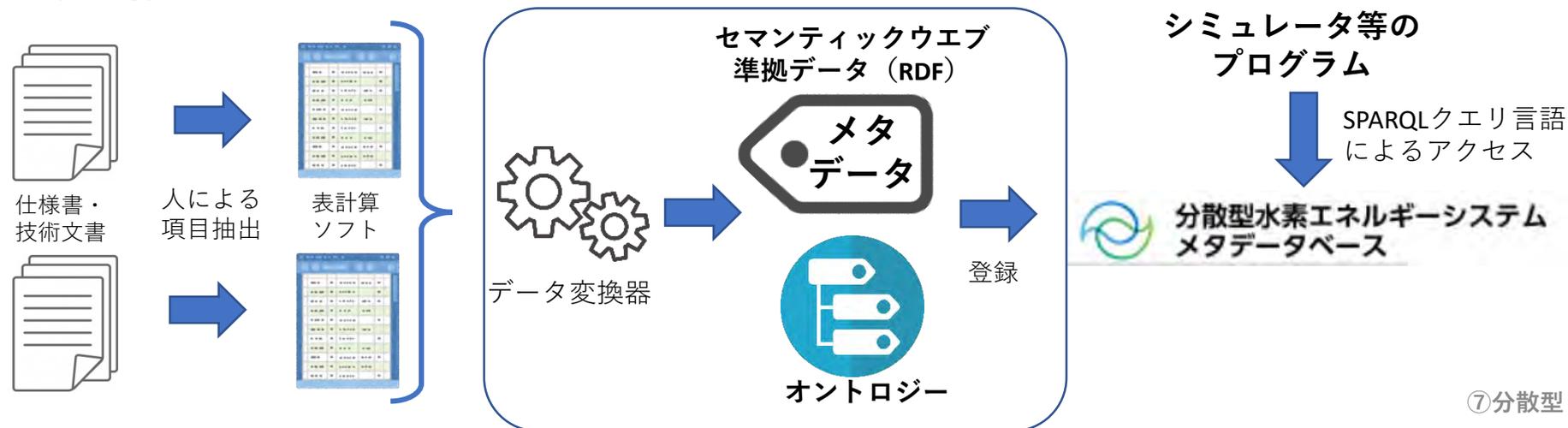
【進捗状況】

1. メタデータ設計

メタデータを4種（システム構成・制御・シミュレーション・計測データ）に分割し並行開発する戦略のもと、システム仕様書からシステム構成と各装置等のアノテーション情報、また計測データのサンプルから計測データアノテーション情報を取りまとめた。セマンティックウェブの標準技術であるRDFとするには、まずメタデータ記述語彙としてクラス（概念）やプロパティ(概念間の関係を記述するもの)を整理・列挙する必要があるため、RDFの複雑さを伴わずにデータを編集できるよう、表計算ソフトウェアを用いて当該作業を実施した。

2. RDFデータ変換器の実装

1.でまとめたクラスやプロパティをオントロジーとしてとりまとめ、アノテーション情報をRDFデータとして作成することが次の作業となるが、これを自動的に行えるよう、データ変換器の実装を行った。具体的には、1.のメタデータ設計は複数人での共同作業等に考慮して表計算ソフトウェアを利用しているが、これをRDF形式に自動的に変換するプログラムを作成した。このRDF形式は、すでに構築済みのメタデータ基盤「分散型水素エネルギーシステムメタデータベース」入力用の形式を含むものであり、今後センサーデータ等のデータも上記変換器によって自動的に当該メタデータベースに登録できるようになる。さらに、当該メタデータベースにメタデータが登録されたことで、シミュレータ等のプログラムからSPARQLクエリ言語を知いてメタデータの検索、取得が可能となった。

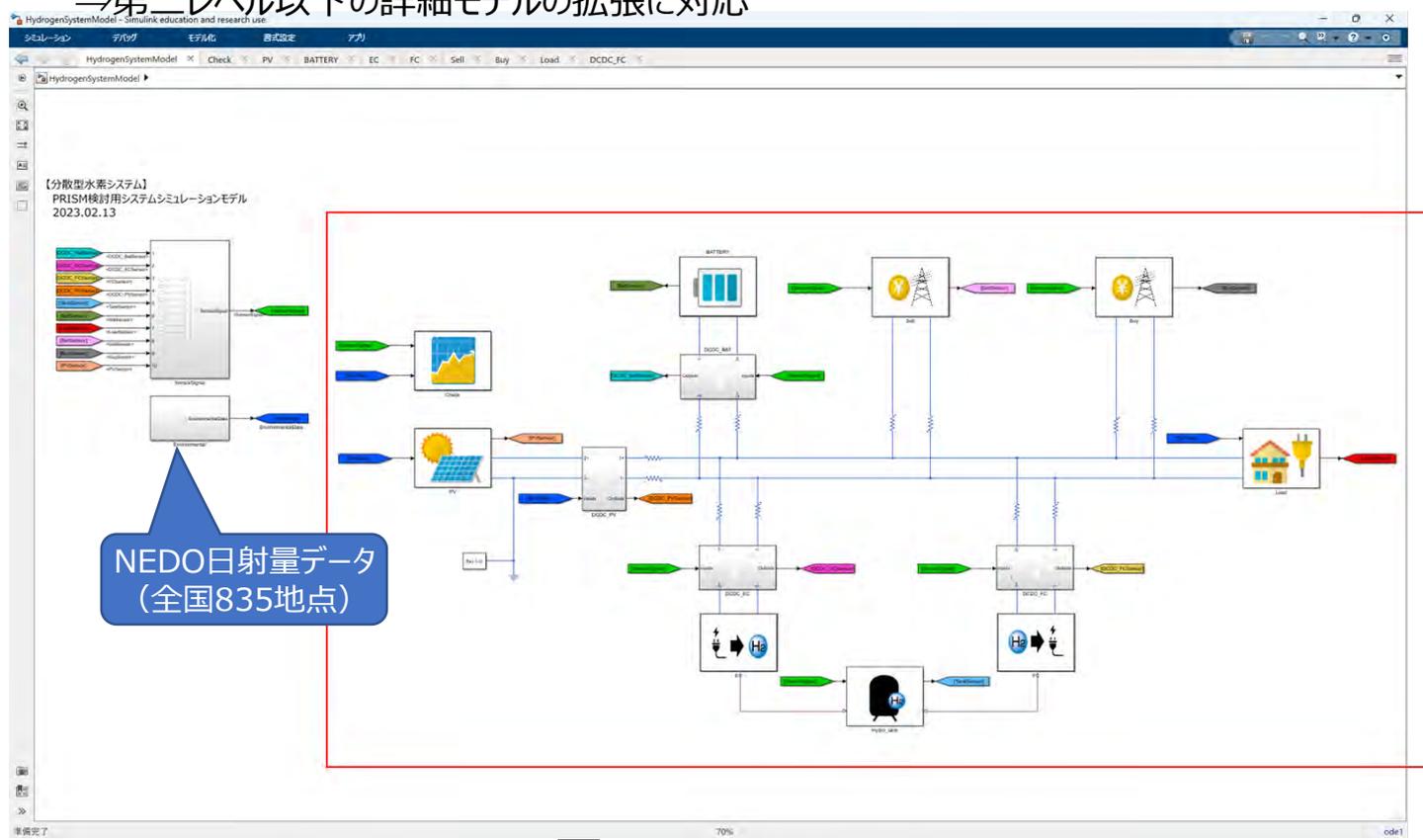


グループ3：システム設計AI・最適制御AI構築

1. デジタルツイン環境の構築

理研分散型水素システムの動作、状態を再現可能な**デジタルツイン環境（簡易システム）**を試作・検証し、改良を実施

- ・時系列シミュレーション（～年間）で、短・長の発電量/デバイス挙動の確認を可能とした
- ・モデルのレベルを見直し、各種デバイスのライブラリ化により、デバイスの可変構成に対応した
⇒地域・用途特性に合った最適システムの自動出力に対応（デバイス容量・構成など）
⇒第二レベル以下の詳細モデルの拡張に対応



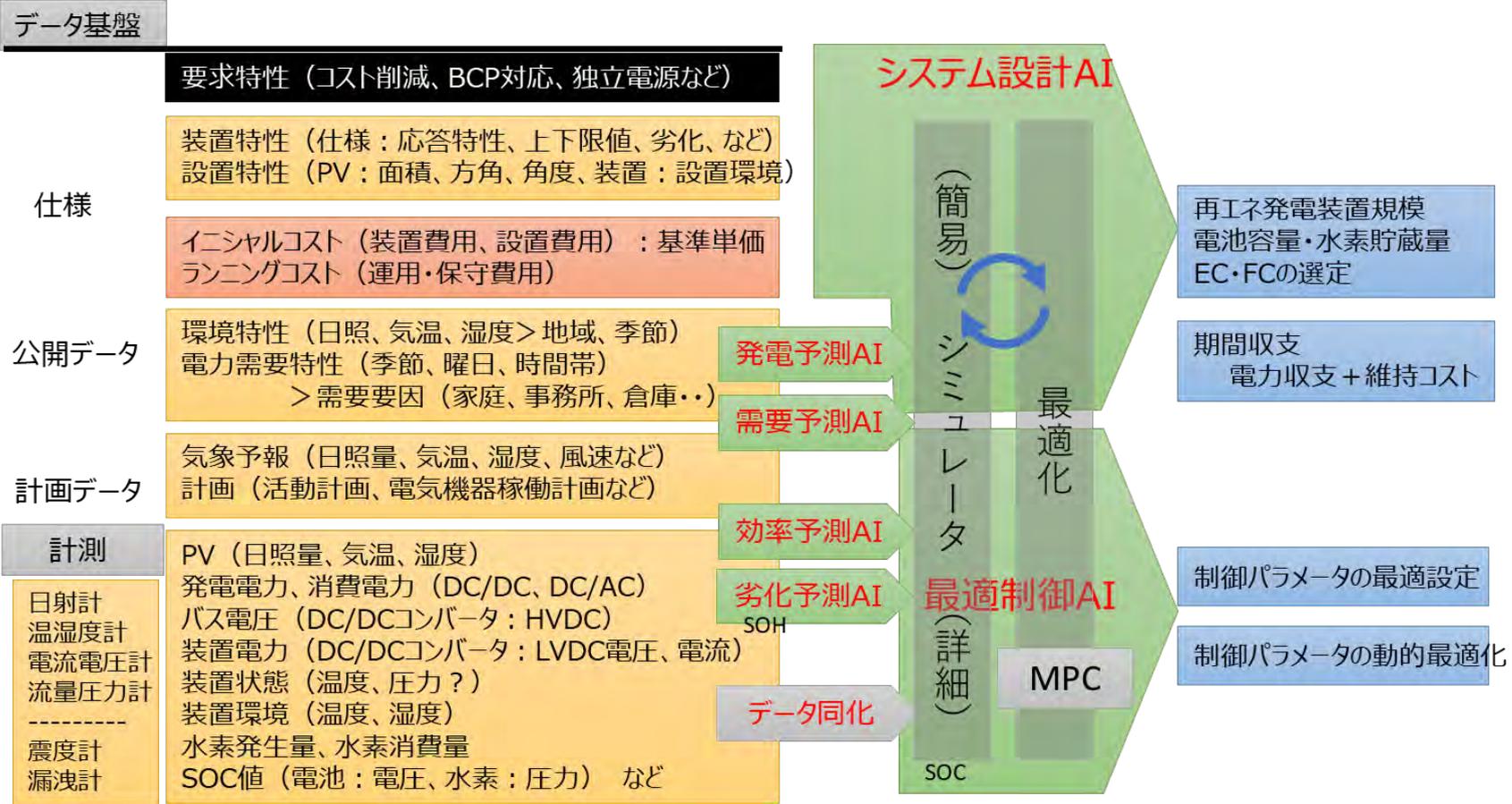
AIと連携するAPIを策定

2. システム設計AI、最適制御AIの構築

①AI構築に係る基本的分析、および機能要件・データ調査を実施（概念モデルを策定）

システム設計AI：設置場所と設置目的に応じて、最適な装置設計パラメータ（装置構成、仕様）を決定

最適制御AI：エネルギー生産量・消費量を予測し、現在の稼働状況を考慮の上、EMSパラメータを最適化
→システム内の各機器の稼働状態を制御（初期設定、動的設定）

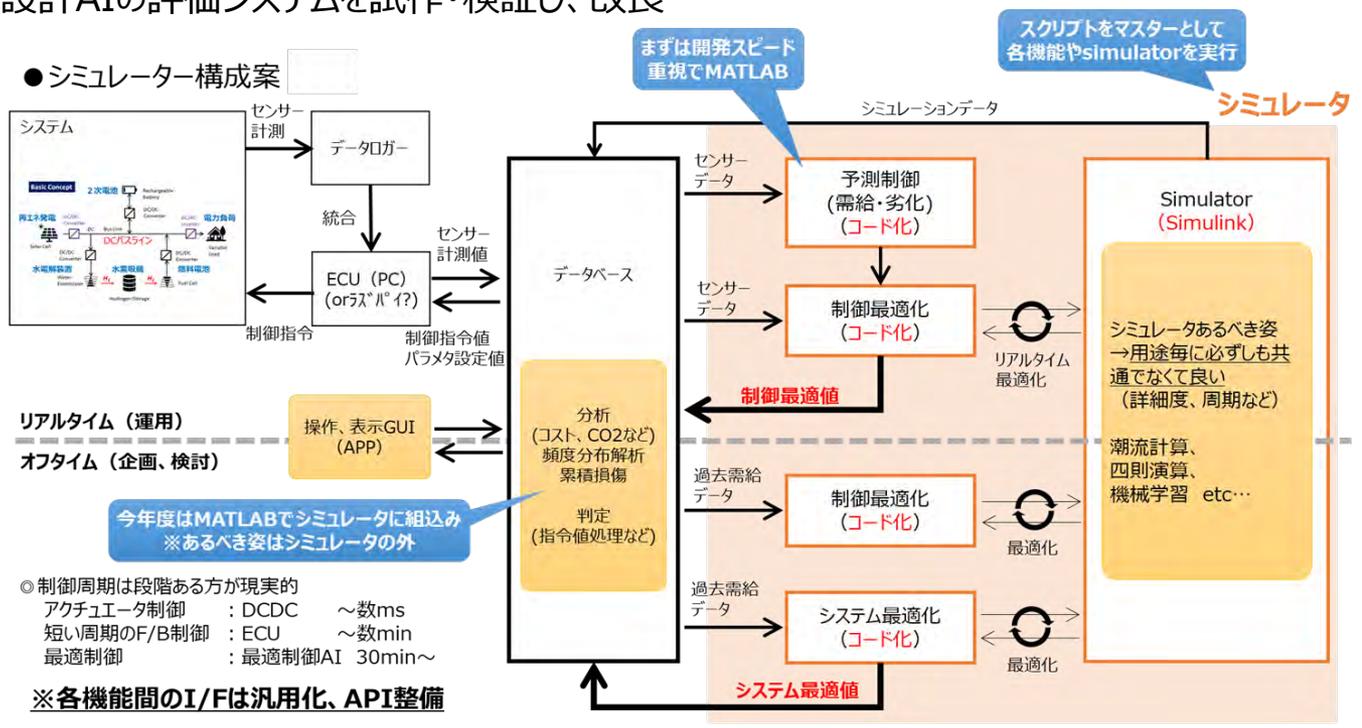


※計測データ (過去ログ、リアル)

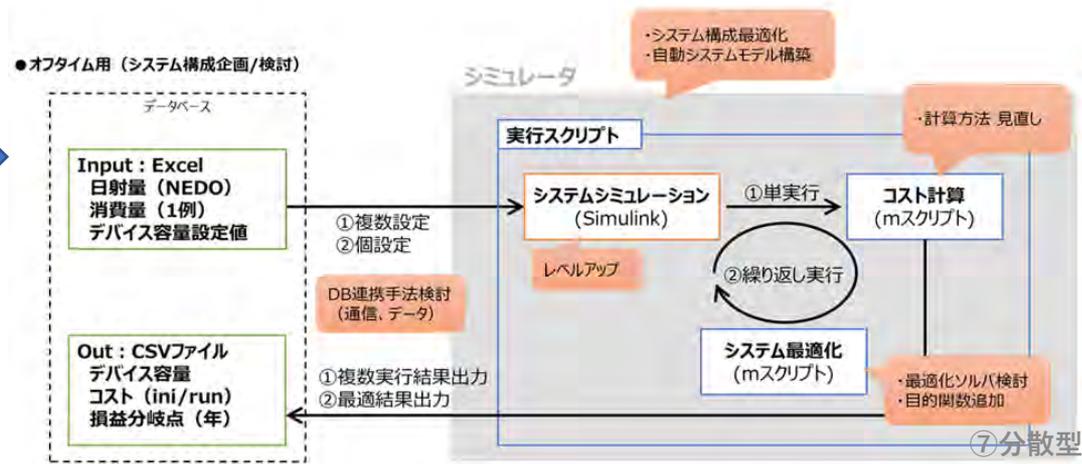
- ・システム設計AIを試作・評価し、様々な目的関数の検討を行いシステム構造（設計）を改良
- ・最適制御AIについて、要件整理を行い、関連データの機序を分析し、適用可能なAI手法を調査・検証

②実装アーキテクチャの検討と試作

- ・システム設計AI、最適制御AIの試作・検証を効率的に実施するための、実装方法について検討
- ・システム設計AIの評価システムを試作・検証し、改良



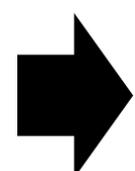
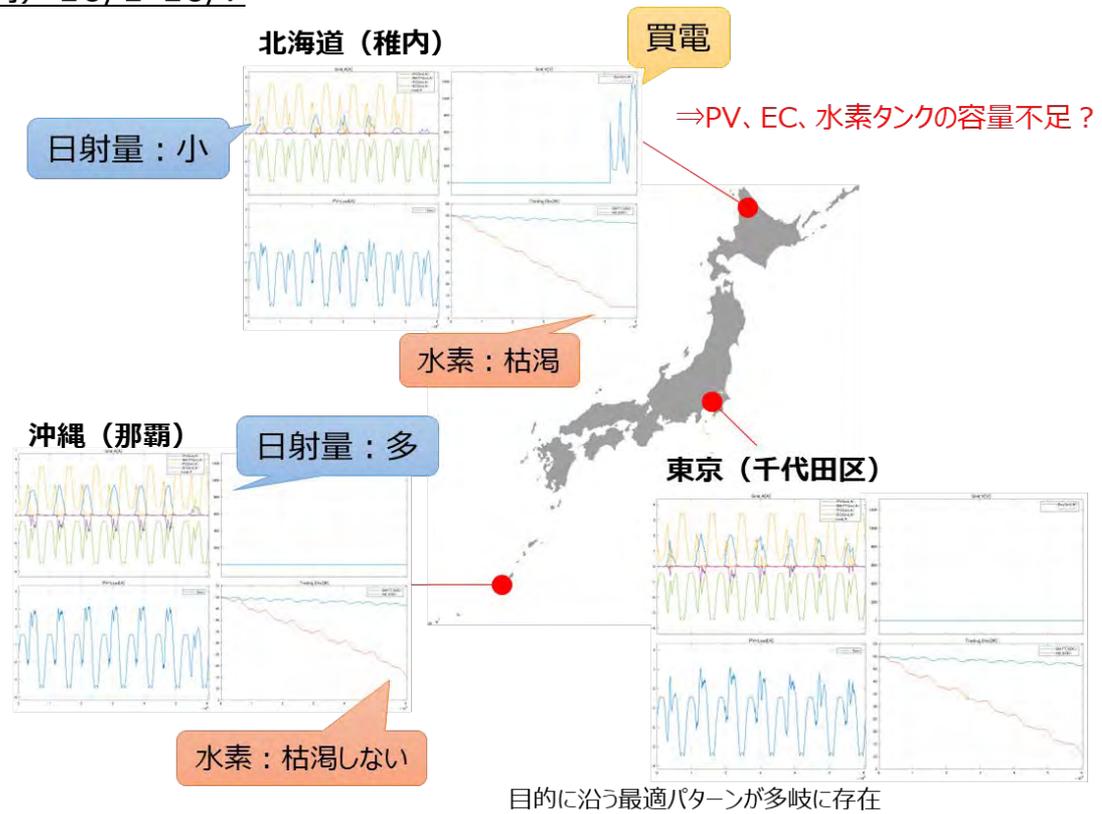
システム設計AIの試作・検証



参考① AIシミュレータの使用イメージ

※需要データがない為、現状は一律同じ消費量 (DB化されると、地域・用途差が表現可能)

例) 10/1-10/7

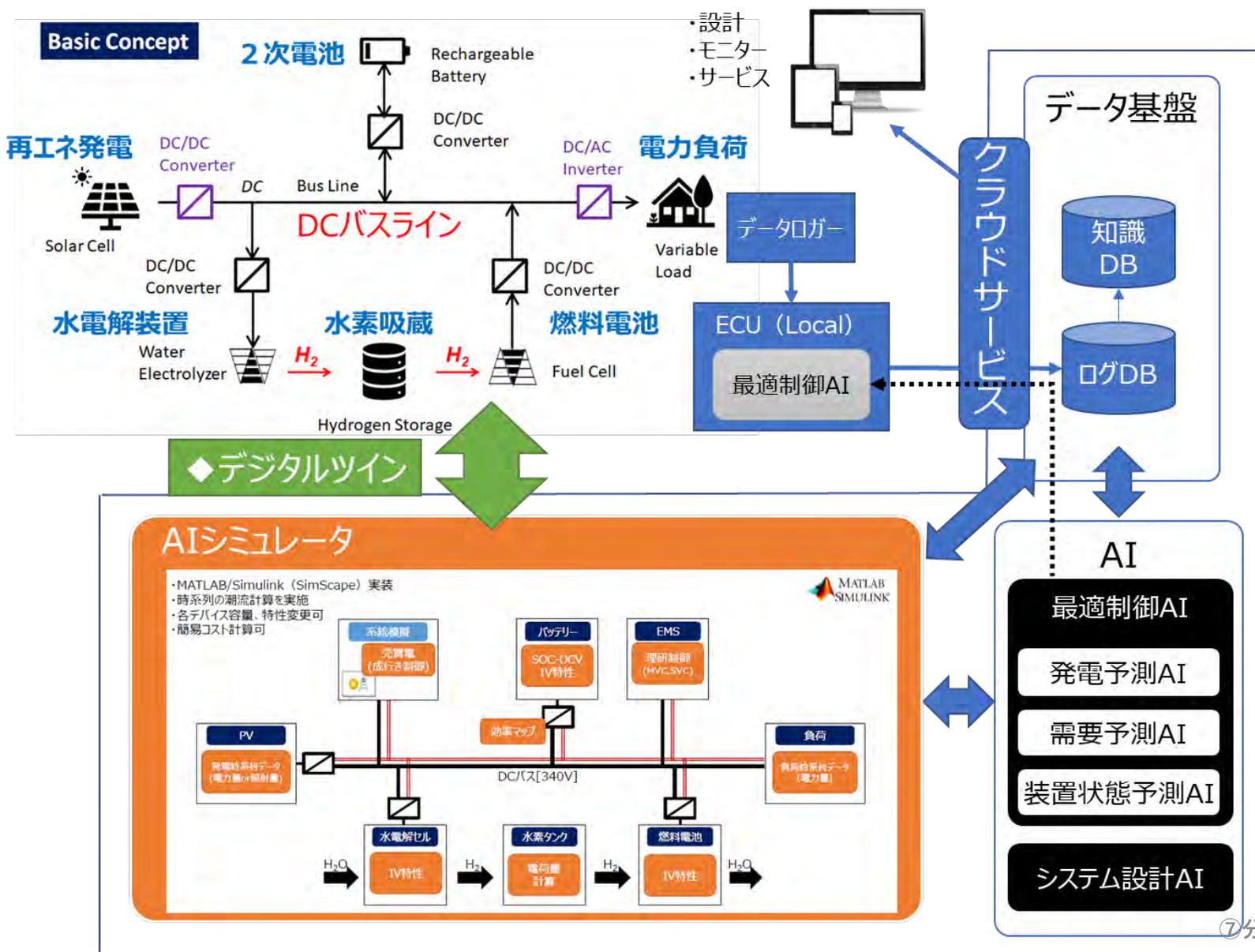


システム設計AI
 地域・設置方法、用途に応じた
 最適なデバイス容量・デバイス構成
 を自動で提案

※現状は「最適化・デバイス容量」のみ

- データ収集先候補 ※自治体等と検討中
- ・離島： 奄岐島、沖縄県離島、鹿児島県離島
 - ・都市圏： 中小規模集合住宅、ビルオフィス
 - ・その他： 北九州市工場、福島県

参考② システム全体の概念図



資料5 「分散型水素エネルギーシステムの設計/制御AIの構築による社会実装加速」の民間からの貢献及び出口の実績

- 民間からの貢献額：1年間で総額22,000千円相当
 - ①AIシミュレータと設計・制御AIの高度化 14,000千円
 - うち、人件費 5,000千円、調査・ソフトウェア開発費・試作費 9,000千円
 - ②技術指導及び実証実験 8,000千円
 - うち、人件費 2,000千円、調査・ソフトウェア開発費・試作費 6,000千円

当年度当初見込み	当年度実績
①AIシミュレータと設計・制御AIの高度化 <ul style="list-style-type: none"> AIシミュレータの開発 (5,000千円) システム開発AI、最適制御AIの開発 (6,000千円) 水素センサー、水素貯蔵周辺のシステム開発AI、最適制御AIの開発 (3,000千円) 	①AIシミュレータと設計・制御AIの高度化 <ul style="list-style-type: none"> 人件費 (研究員5名の出向) : 6,000千円相当 調査・ソフトウェア開発費・試作費 : 6,300千円相当 【内訳】簡易シミュレータ試作 (提供) : 1,000千円 調査 10人・日程度、計画立案/管理/指導 60人・日程度 : 5,300千円
②技術指導及び実証実験 <ul style="list-style-type: none"> データ基盤、AIシミュレータと設計・制御AIの技術指導及び実証実験 (8,000千円) 	②技術指導及び実証実験 <ul style="list-style-type: none"> 人件費 (研究員5名の出向) : 8,800千円相当 調査・ソフトウェア開発費・試作費 : 2,400千円相当 【内訳】調査34人・日程度、技術指導8人・日程度

○出口戦略：PRISMによる一元的なデータ連携基盤を活用したデジタルツインの実現によって、地域・目的ごとに分散型水素エネルギーシステムの最適設計を行うことで、同システムの社会実装を促進する。さらに、社会実装後のデータを蓄積し、シミュレータの活用によりシステム全体の高精度化、高効率化を図る。導入先としては研究施設、中小規模集合住宅、病院等公共施設、企業オフィス、さらに離島や地域でのスマート農漁業施設など産業振興に繋がる設備を想定しており、水素利用先の拡大に加えグローバルな水素社会実現における日本のリーダーシップへの貢献も可能となる。具体的には、香岐島の陸上養殖用自立電源（産学官連携事業で既に水素システムを導入済）に対し、2023年度よりPRISM成果を適用予定である。また、沖縄県離島部（バイオマス発電、植物/微生物工場等）への導入も検討している。さらに、鹿児島県離島、エレベーター用電源（フジタ社）、海外ではSGPやEU（スペイン、ノルウェー等）において、PRISM成果を活用する計画を進めている。

当年度当初見込み	当年度実績
民間研究開発投資の誘発のため、理研を中心に構築しているオープンイノベーションプラットフォーム（分散型水素システム社会実装研究会）の会員企業と共同で、分散型水素エネルギーシステムに導入するAIシミュレータ、設計・制御AIの開発を機能ブロックごとに取り組むとともに、同システムのブロック単位での実証実験を実施する。	理化学研究所・光量子工学研究センター（RAP）、同・情報統合本部（RIH）と、分散型水素システム社会実装研究会（理研オープンイノベーション会議）の会員企業であるアツミテック社、先端力学シミュレーション研究所社（ASTOM）、インテグレーションテクノロジー社（ITC）、大手自動車系制御装置メーカーとが分担し、各機能ブロックの開発を実施。また開発と並行して、同じく会員企業のADS社、メグレナジー社、フジタ社（ゼネコン）協力のもと、バーチャルでの関連試験機の稼働状態検証およびリアルでの設置先施設ごとの実証実験準備を行った。詳細検討は今後実施。