



カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／

④次世代火力発電基盤技術開発／

6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発 (中間評価)

(2017年度～2022年度 6年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO 環境部

2020年6月22日

目次



New Energy and Industrial Technology Development Organization

1. 事業の位置づけ・必要性

- (1) 事業の目的の妥当性
- (2) NEDOの事業としての妥当性

2. 研究開発マネジメント

- (1) 研究開発目標の妥当性
- (2) 研究開発計画の妥当性
- (3) 研究開発の実施体制の妥当性
- (4) 研究開発の進捗管理の妥当性
- (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

3. 研究開発成果

- (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2) 成果の最終目標の達成可能性
- (3) 成果の普及
- (4) 知的財産権の確保に向けた取組

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3) 成果の実用化・事業化の見通し

1. 事業の位置づけ・必要性

(1) 事業の目的の妥当性

(2) NEDOの事業としての妥当性

【参考】

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」事業一覧*



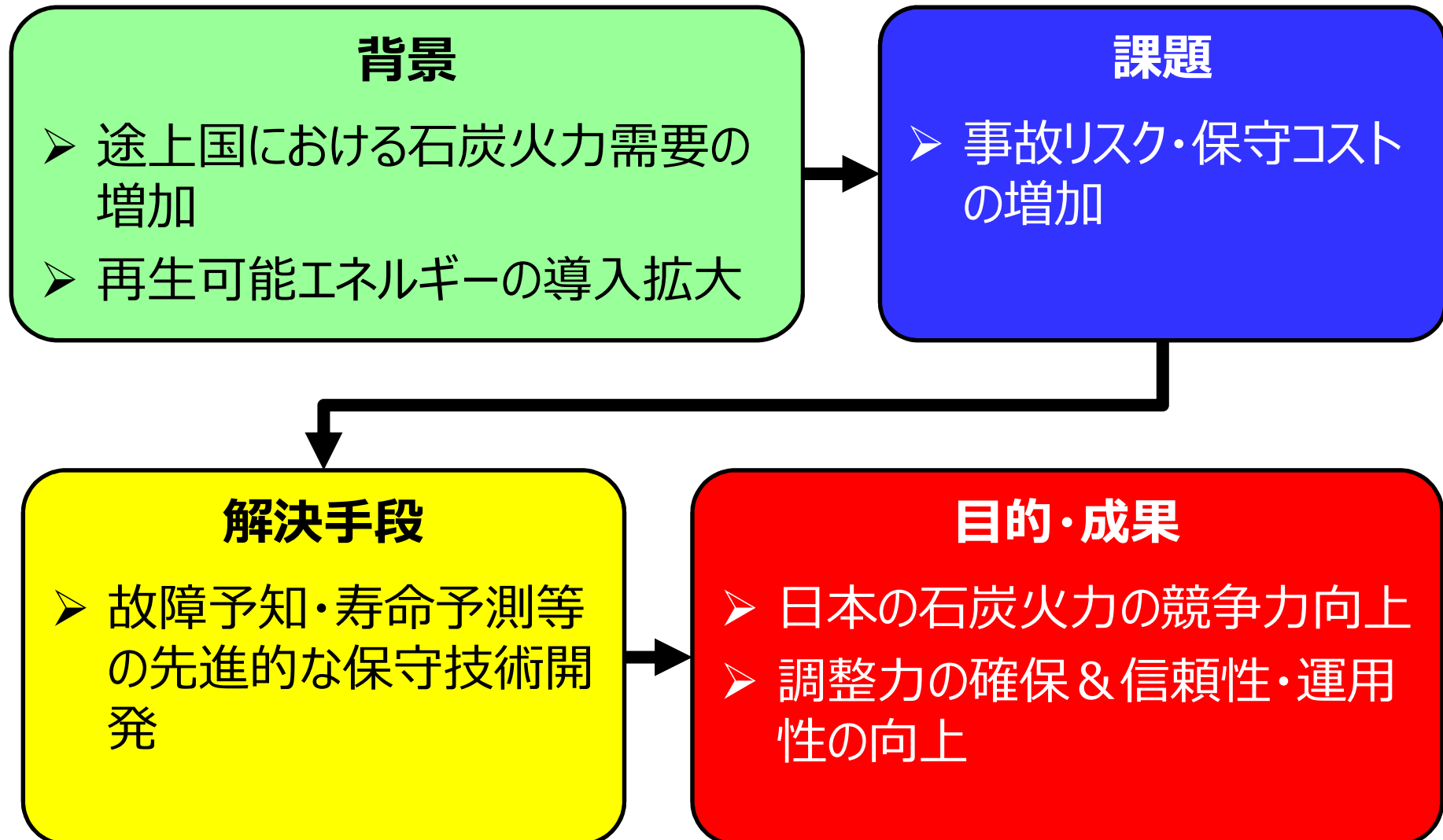
New Energy and Industrial Technology Development Organization

年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO ₂ 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO ₂ 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1					◇			◇					
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(1/2助成) 2) 高温分空利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1					◇				◇				
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1													
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																		
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)									※2									
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)									※2									
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																		
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																		
5) CO ₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2									
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)																		
7) CO ₂ 有効利用技術開発(委託)																		
8) 流動床ガス化燃焼を応じた石炭利用技術開発(委託)																		
9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)																		

*一部抜粋
 ◇中間評価、◆事後評価

1. 事業の位置づけ・必要性

◆ 基本計画の概要



1. 事業の位置づけ・必要性

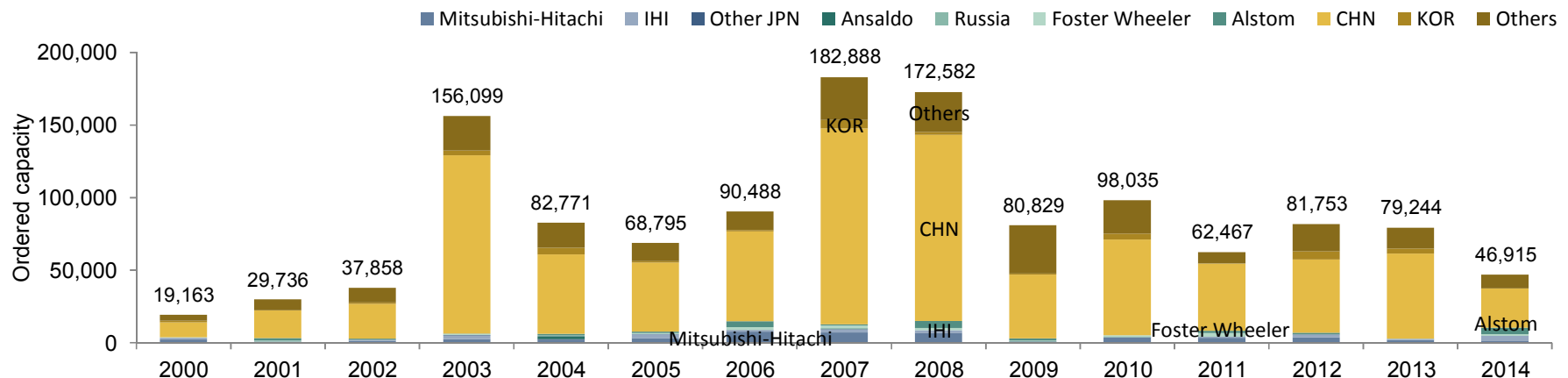
(1) 事業の目的の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 事業実施の背景（市場動向、国際競争力の状況）

- 日本の石炭火力発電所は、長年の技術開発の成果により、**高い発電効率**や**排出ガス対策**で、世界的に最高レベルの技術を有している。
- しかしながら、日本の技術を採用したプラント価格は、**他の国のプラントに比べて高価**であるため、国際市場に於いて必ずしも高い競争力を有しておらず、海外での導入事例も限られているのが現状である。



出典：NEDO成果報告書「平成26年度～平成27年度成果報告書 クリーン・コール・テクノロジー推進事業／日本の石炭火力発電技術の競争力強化の検討」を一部加工

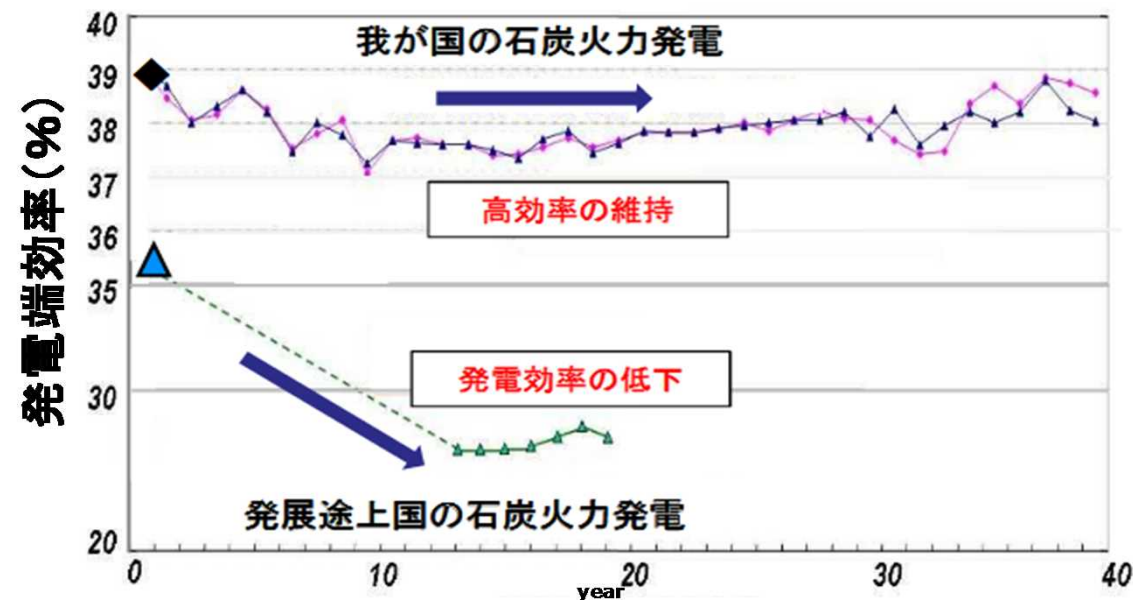
1. 事業の位置づけ・必要性

(1) 事業の目的の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 事業実施の背景（内外の技術動向、国際貢献可能性）

- 日本の石炭火力発電所が受注に至った地域では、厳しい技術要件が定められており、**日本の高効率発電技術**が入札時に評価されている。
- 一方、他国製の石炭火力発電所を導入した諸外国のユーザーの多くが、**稼働率の低下**をはじめとしたオペレーション上の様々な課題を抱えている。



出典：電気事業連合会

1. 事業の位置づけ・必要性



(1) 事業の目的の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 事業実施の背景（内外の技術動向、国際競争力の状況）

- インドネシア、マレーシア、ポーランド等の石炭火力導入国では、**計画外停止の回避**や稼働率確保のニーズが大きく、ボイラ故障や石炭品質管理等の課題を抱えている。
- よって、ユーザーメリットは、主に**稼働率向上**、**メンテ補修費削減**によるものが大きい。
- 日本の国際競争力を維持、強化していくためには、他国の追随を許さない、高水準の稼働率実現やメンテナンス費低減に向けた**高度なO&M技術開発**が必要であり、高稼働率／高信頼性を保証することを可能とする様な**計測、解析技術（シミュレーション含む）**が有効と考えられる。
- 日本の高いO&M品質を**長期保守契約（LTSA）**で提供する**ビジネスモデルを構築**することで、結果として日本の石炭火力発電所の競争力が向上すると考えられる。

【参考】石炭火力導入各国のニーズ



New Energy and Industrial Technology Development Organization

	課題（ニーズ）	O&Mサービス	ユーザーメリット[Million USD / year]					
			効率向上	稼働率向上	補修費削減	計画外停止の回避		
						予備機起動停止	社会的信頼	事業リスク低下
マレーシア	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト） ✓ チューブリークによる計画外停止 ✓ ボイラー出口温度上昇による効率低下 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理 ✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断 	6.2 △	39 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ◎
インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト） ✓ ボイラートラブルに起因する計画外停止 ✓ パーツストック合理化 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理 ✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断 	- =	16 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ○
ポーランド	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 再エネ対応 ✓ 環境負荷の低減 ✓ 計画外停止の根絶 ✓ 石炭品質管理 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 部分負荷効率向上サービス ✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断 	1.1 △	17.6 ○	3.5 △	0.3 △	- ◎	- ○

1. 事業の位置づけ・必要性

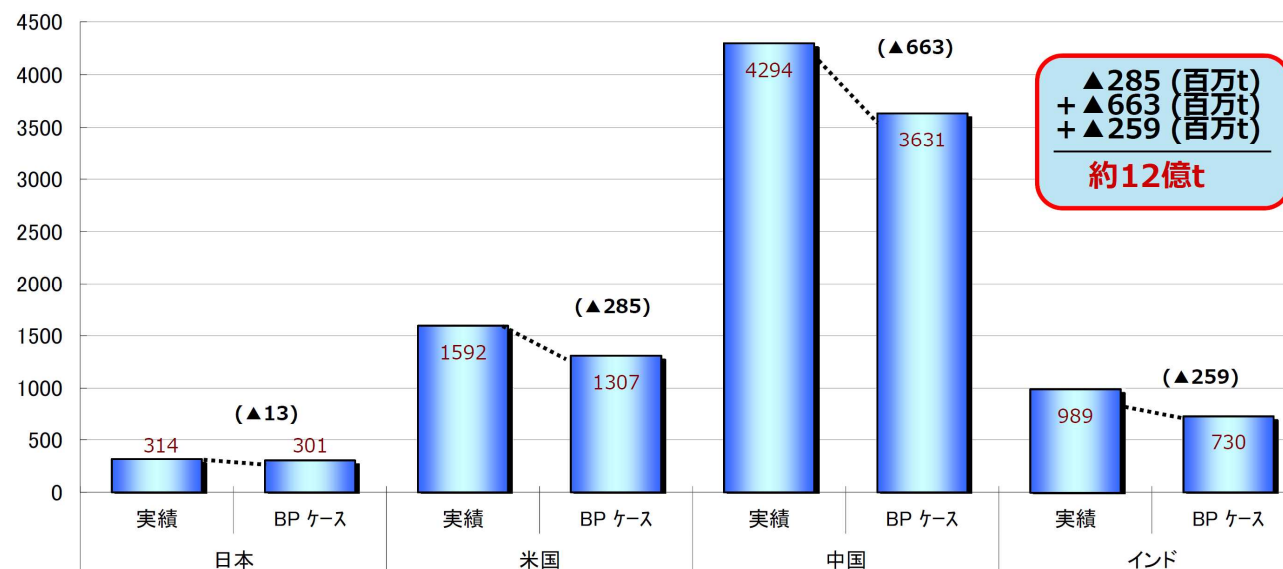
(1) 事業の目的の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 事業実施の背景（政策動向、国際貢献可能性）

- 2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、「**低炭素型インフラ輸出**」を積極的に推進することとしており、「相手国のエネルギー政策や気候変動対策との統合的な形で、原則、世界最新鋭である**超々臨界圧（USC）**以上の発電設備について導入を支援する」こととしている。



石炭火力発電からのCO2排出量実績(2014年)と日本の最高効率適用ケース

(出典) 資源エネルギー庁, 国によって異なる石炭火力発電の利活用, 2018 10

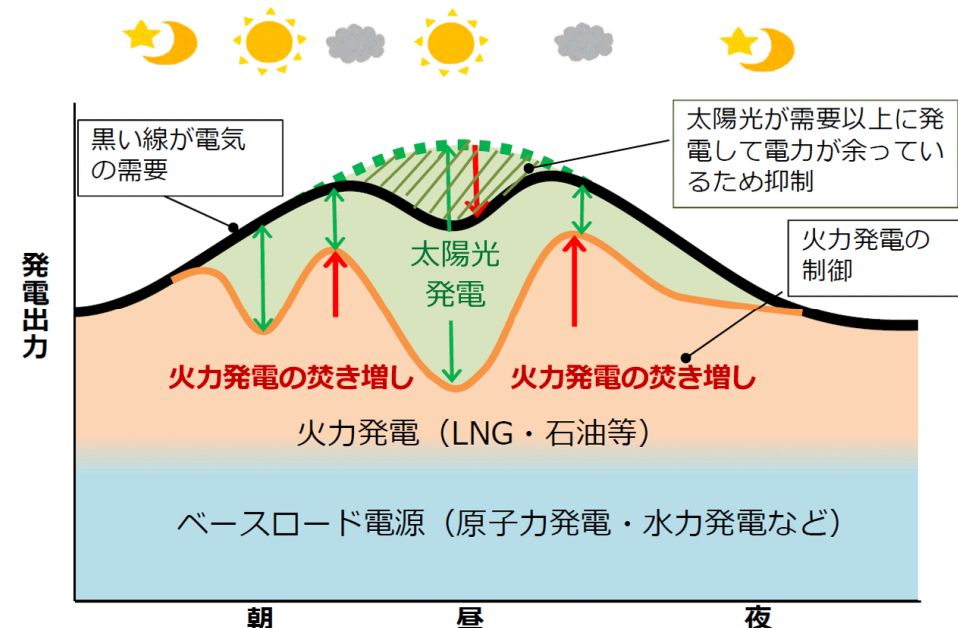
1. 事業の位置づけ・必要性

(1) 事業の目的の妥当性

◆ 事業実施の背景（政策動向、エネルギー需給動向）

➤ 2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」において、石炭は「現状において安定供給性や経済性に優れた重要な**ベースロード電源**の燃料として評価されているが、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、適切に**出力調整を行う必要性**が高まると見込まれる」とされている。

➤ 今後とりわけ自然変動電源（太陽光・風力）の導入が拡大する中で、電力の需給バランスを維持し周波数を安定化するために、火力発電等による**調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上**が求められている。



1. 事業の位置づけ・必要性



(1) 事業の目的の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 事業の目的

- ユーザーニーズに的確にマッチングした日本の高いO&M品質を長期保守契約（LTSA）で実現するために必要な技術開発を実施する。
- 更に、石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるための先進的な技術開発を実施する。

目的

- 日本の石炭火力の競争力向上
- 調整力の確保 & 信頼性・運用性の向上

解決手段

- 故障予知・寿命予測等の先進的な保守技術開発

1. 事業の位置づけ・必要性

(2) NEDOの事業としての妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ NEDOが関与する意義

- 全世界的な石炭火力に対する逆風の中で、**将来の環境規制が経営リスク**となり得ることから、民間企業における石炭火力技術開発への投資が十分に見込めない状況となっている。
- 一方で、日本のエネルギー政策上、石炭火力の調整力と信頼性・運用性の向上が**低炭素型インフラ輸出の拡大**や**電力の需給バランスの維持**等の社会的な利益につながることから、「エネルギー・地球環境問題の解決」と「産業技術力の強化」をミッションとするNEDOが関与することが望ましい。

1. 事業の位置づけ・必要性

(2) NEDOの事業としての妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 実施の効果（費用対効果：海外シェア拡大）

- 海外の石炭火力は2019～2040年にかけて540GW新設*¹ される見込み⇒ 24GW/年⇒ 想定される市場規模は約6兆円/年*²
- 世界のボイラ市場に占める日本企業のシェアは7.5%*³なので、2倍(15%)に拡大するとインフラ輸出は0.4兆円/年の増額となる。

* 1: 「World Energy Outlook 2019」記載の2018年～2040年の新設容量（リプレースを含む、建設中を除く）。

* 2: コスト等検証委員会で提示された2030年の石炭火力発電建設単価25万円/kWを適用。

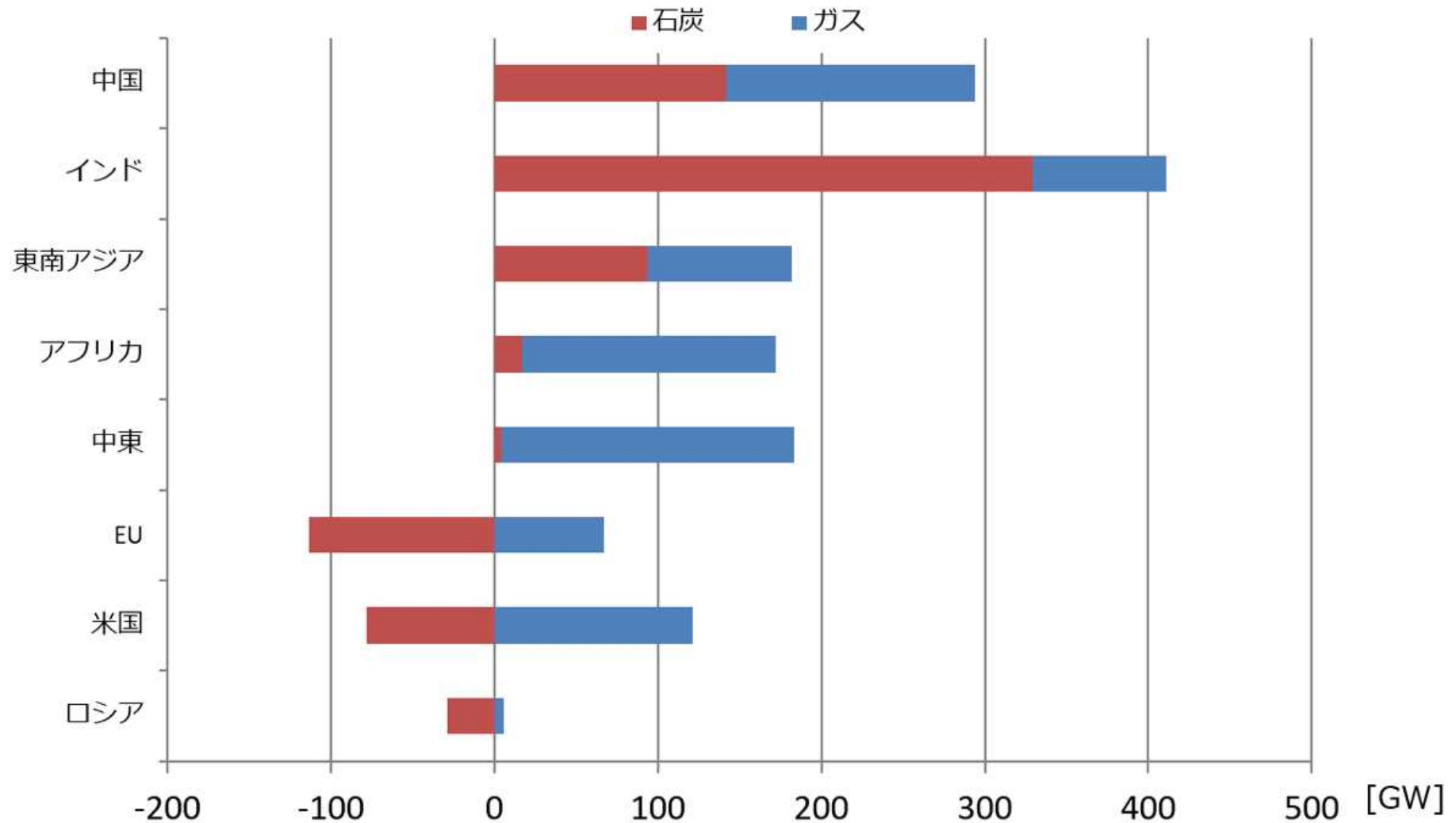
* 3: 三菱総合研究所, 製造基盤技術実態等調査事業, 2016年

開発費用 36億円 < 輸出効果 0.4兆円/年

【参考】主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増加見通し(2015-2040)



New Energy and Industrial Technology Development Organization



(出典) 資源エネルギー庁, 国によって異なる石炭火力発電の利活用, 2018

1. 事業の位置づけ・必要性

(2) NEDOの事業としての妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 実施の効果 (CO2排出抑制)

	排出原単位/g-CO2 kWh ⁻¹
インド	1195
中国	967
米国	907
世界平均	958
日本の最新鋭USC	806

- 日本の最新鋭USCが世界に導入されるとkWh当たり**152 gのCO2排出が抑制**される（世界平均－最新鋭USC）。

（出典）資源エネルギー庁, 火力発電の高効率化, 2015。

CO2排出抑制量 152 g-CO2/kWh

1. 事業の位置づけ・必要性

(2) NEDOの事業としての妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 実施の効果（費用対効果：補修費削減）

- 現在、国内USC 石炭火力発電プラントの主要配管は損傷の有無に関わらず、**運転時間を基に約15年で全交換**されている。
- ボイラの寿命を50年と仮定すると3回の交換が必要となるが、本事業成果技術により**必要箇所のみ**の交換、または**交換周期を20年程度に延伸**できれば、ボイラ寿命内での交換回数は2回に抑える事ができる。
- 1プラントあたり1回交換分費用の**100億円の削減効果**があり、国内24基を想定すると2,400億円となる。

開発費用 36億円 < 削減効果 2,400億円

2. 研究開発マネジメント

- (1) 研究開発目標の妥当性
- (2) 研究開発計画の妥当性
- (3) 研究開発の実施体制の妥当性
- (4) 研究開発の進捗管理の妥当性
- (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

2. 研究開発マネジメント

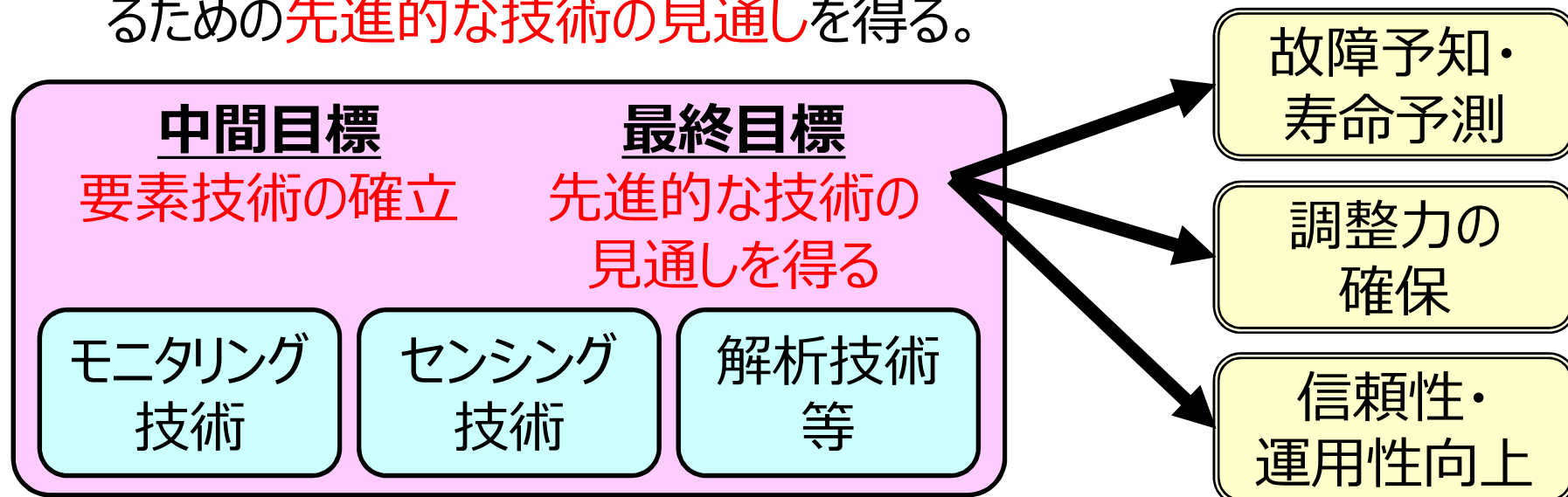
(1) 研究開発目標の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 事業の目標

事業実施の背景・目的に示した、内外の技術動向、市場動向等を踏まえ、以下の目標を設定した。

- 中間目標（2020年度）：長期保守契約（LTSA）等に寄与できる**各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術**を確立する。
- 最終目標（2022年度）：負荷変動対応に伴う事故リスクと保守コスト低減に必要な故障予知・寿命予測等の**保守技術**および石炭火力発電による**調整力**の一層の確保と**信頼性・運用性**を向上させるための**先進的な技術の見通し**を得る。



2. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発目標と根拠

(微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

今後再エネ導入量拡大によって石炭火力も負荷変動運転が必要となる。負荷変動によるボイラ構造部材の低サイクル疲労、炉壁温度分布の拡大で耐圧部、非耐圧部ともに**従来より厳しい運用条件**になると予想される。

本事業で開発された伝熱管の温度予測技術をボイラ火炉に拡張することで、**ボイラ構造部材の寿命予測**ができるようになる

運用条件でボイラ構造部材の温度履歴を計算

構造的な弱点部位を推定
(寿命予測)

- 適正な定期点検間隔
- 弱点部位を効率的に検査して定検期間短縮

調整電源として稼働率を維持しながら定期検査を最適化できる

2. 研究開発マネジメント



(1) 研究開発目標の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発目標と根拠

(微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

- 炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での伝熱管温度・ガス温度などの詳細データ取得する。
- 炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での数値解析による伝熱管温度分布予測を実証し、**加熱部最高温度の推定誤差が0～＋20℃の範囲に入る**ことを確認する。

【目標設定根拠】

- 従来の温度推定誤差0～＋30℃を0～＋20℃にすることで、10万時間と見込んでいたクリープ破断寿命が20万時間と推定でき、＋10万時間延長可能となる。
- これは、点検間隔が6年を超えても使用可能なレベルであり、大幅な劣化更新頻度の低下となる。(8000時間/年×6年×2 (安全率) = 9.6万時間 < 10万時間)

2. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

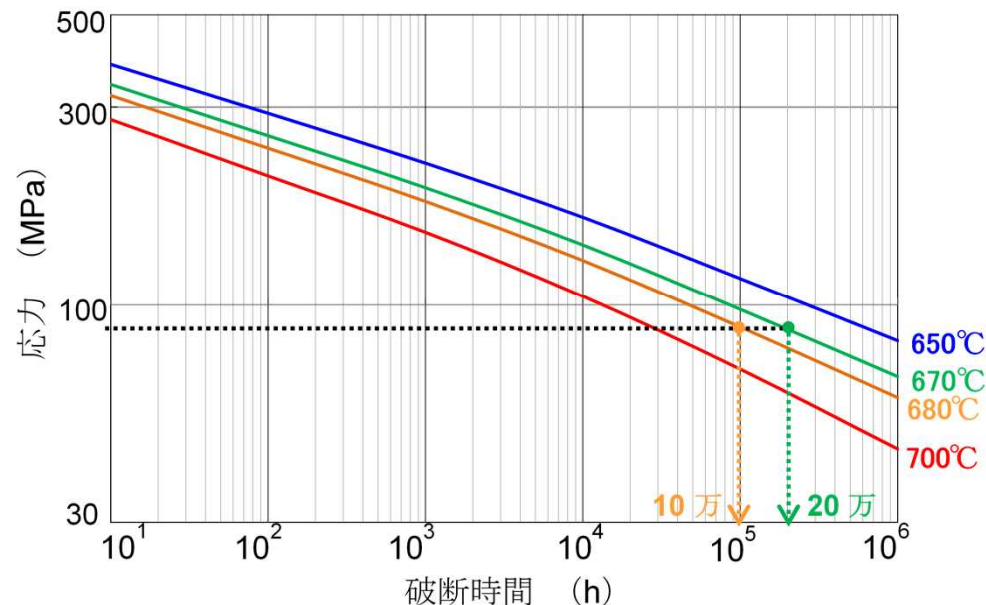
New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発目標と根拠

(微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

【目標設定根拠】

- 高温材料を650℃で使用する場合
(従来) 推定誤差：+30℃のため、680℃の寿命カーブを採用
(開発後) 推定誤差：+20℃のため、670℃の寿命カーブを採用可能
- 従来では10万時間と見込んでいた寿命が、採用する寿命カーブの見直しにより20万時間と推定でき、+10万時間延長可能となる。



SUPER304Hのクリープ破断特性
(「まてりあ 第46巻 第2号(2007),
高効率火力発電伝熱管用高強度ステンレス鋼管
SUPER304H(火SUS304J1HTB)の開発」
のデータを基に作成)

2. 研究開発マネジメント

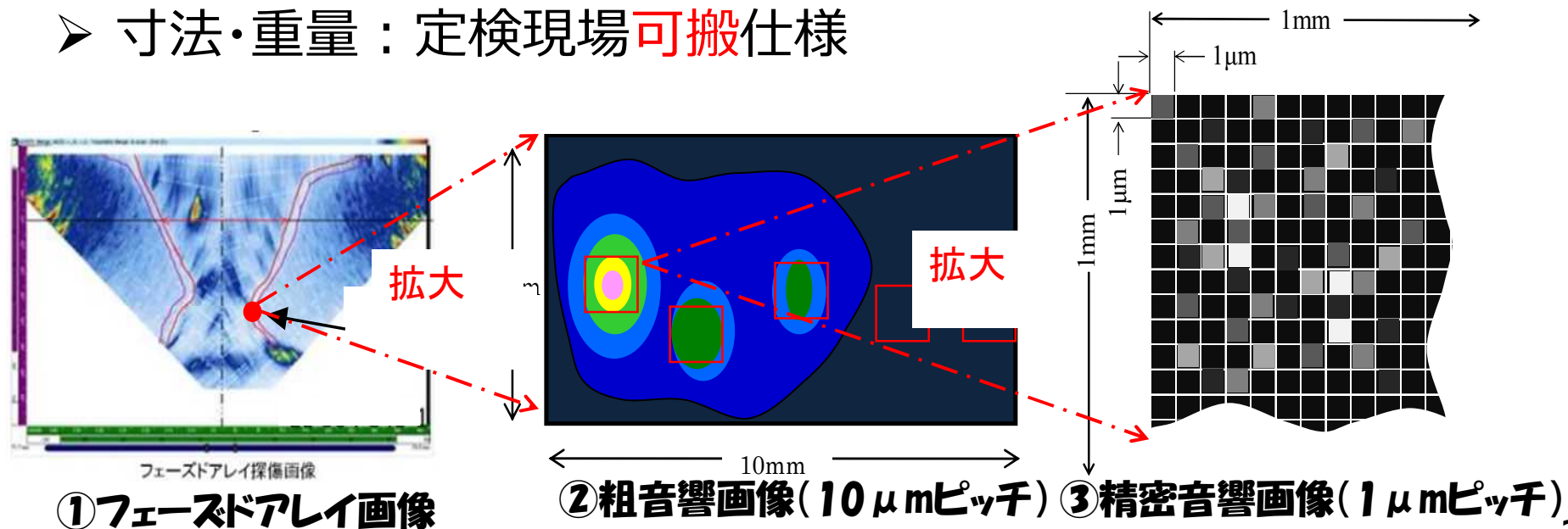
(1) 研究開発目標の妥当性

◆ 研究開発目標と根拠（クリープボイド初期検出システムの開発）

- 配管内部の溶接会合部に発生する μm オーダーのクリープボイド
900個/ mm^2 程度*を検出できる。

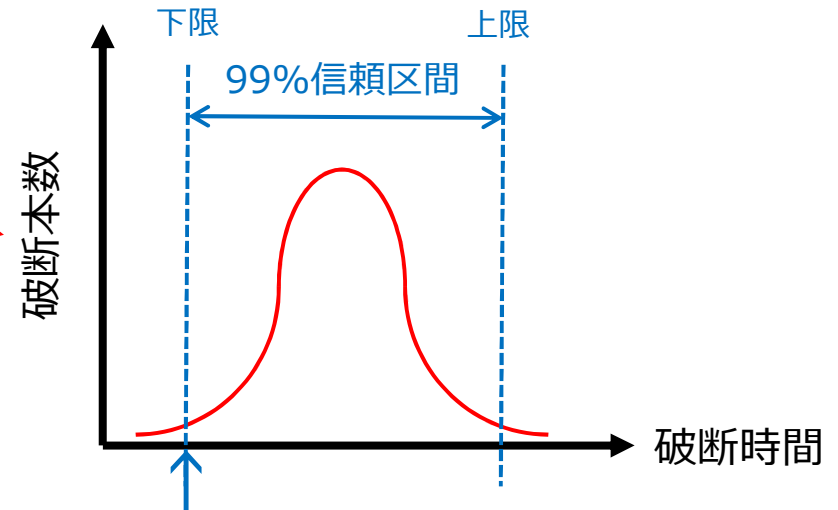
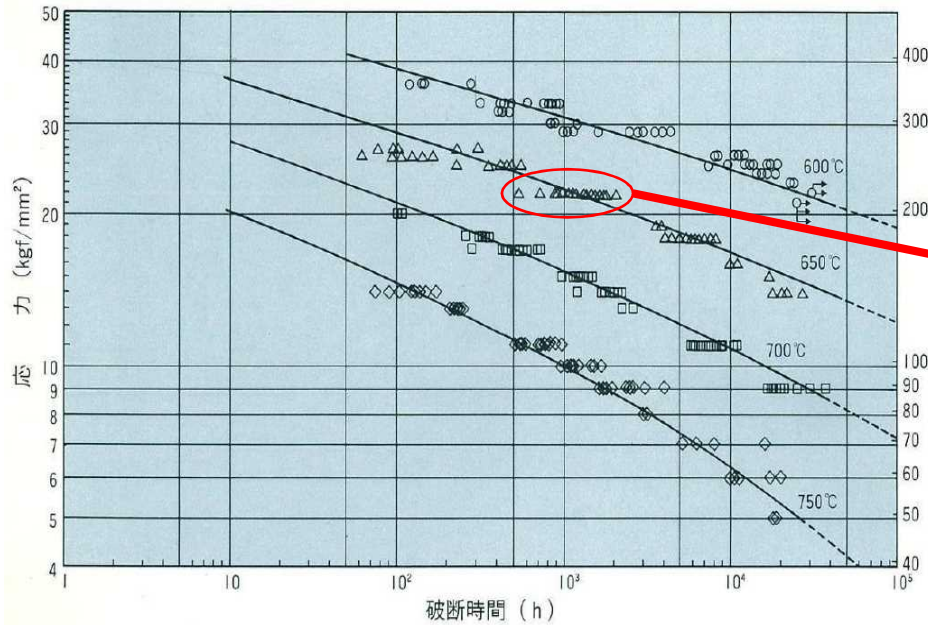
* 900個/ mm^2 程度 = クリープ損傷率(破断するまでの寿命消費率)35~50%
定期点検時に取り替えた実配管の最大値

- 検出時間：**20分**
- 寸法・重量：定検現場**可搬**仕様



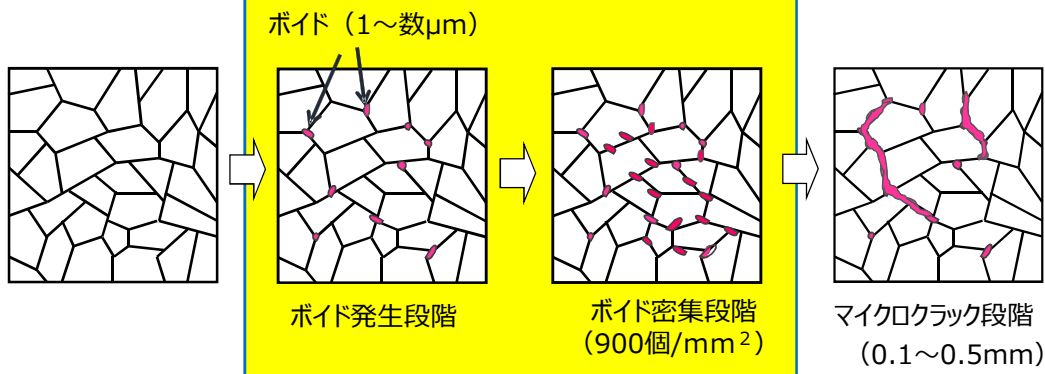
【参考】配管の交換時期の設定イメージ

New Energy and Industrial Technology Development Organization

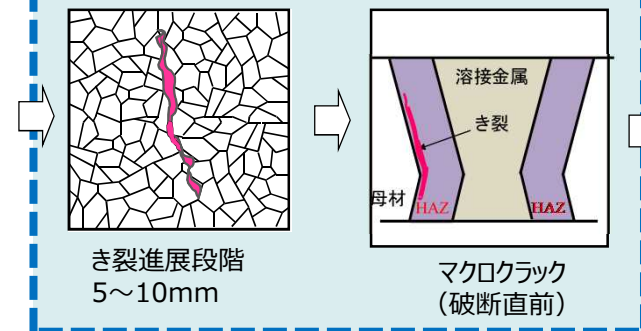


交換時期
(10万時間強)

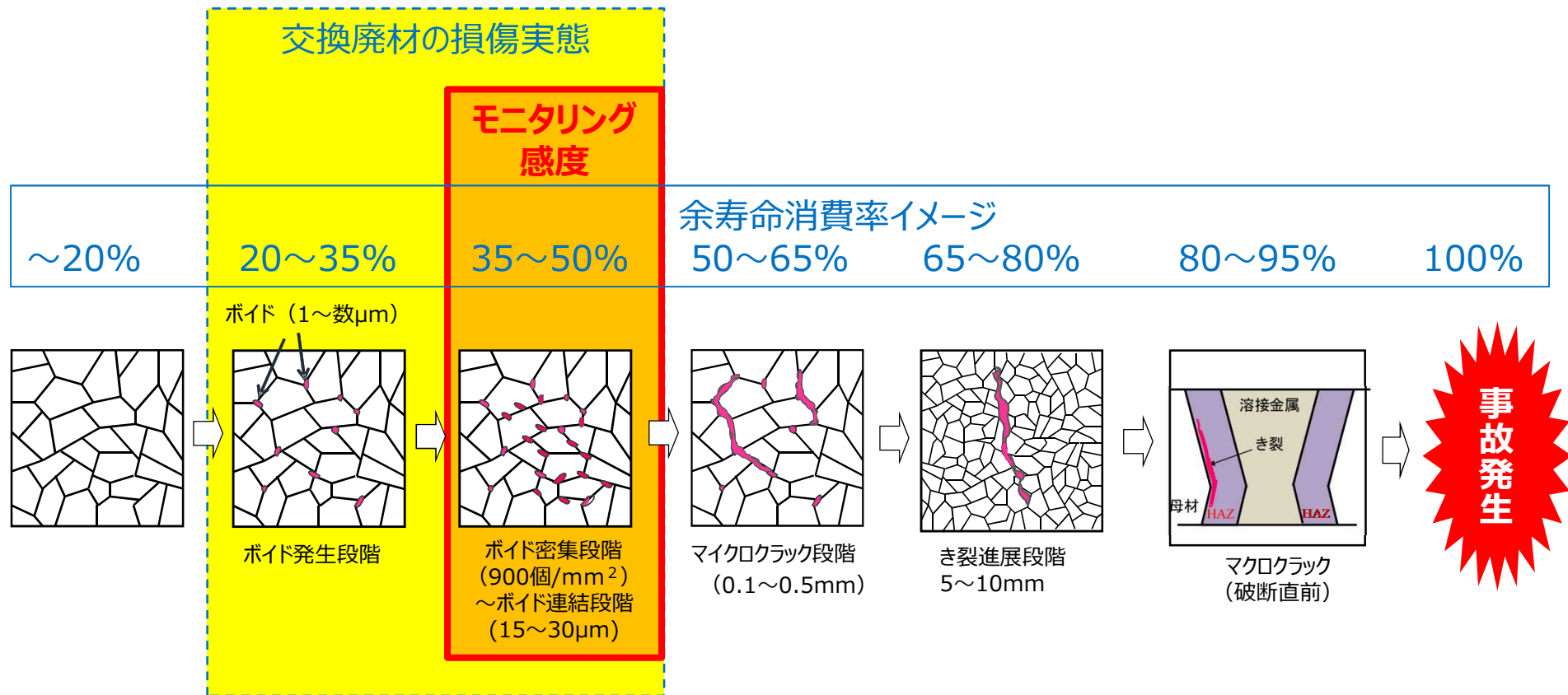
交換廃材の損傷実態



既存技術の探傷範囲



- 合理的な保安基準（精度が高い寿命評価）
- 計画的な交換計画（事故リスクの低減）



2. 研究開発マネジメント

(2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュールとプロジェクト費用（百万円）

研究開発項目	2017	2018	2019	2020	2021	2022	合計
微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上	146	198	137				481
クリープボイド初期検出システムの開発	10	93	34				137
余寿命・故障予兆診断技術開発							3,000
合計	156	291	171		3,000		3,618

【最終目標】
調整力確保と信頼性・運用性向上の技術見通し

【中間目標】
各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術の確立

(公募中)

2. 研究開発マネジメント

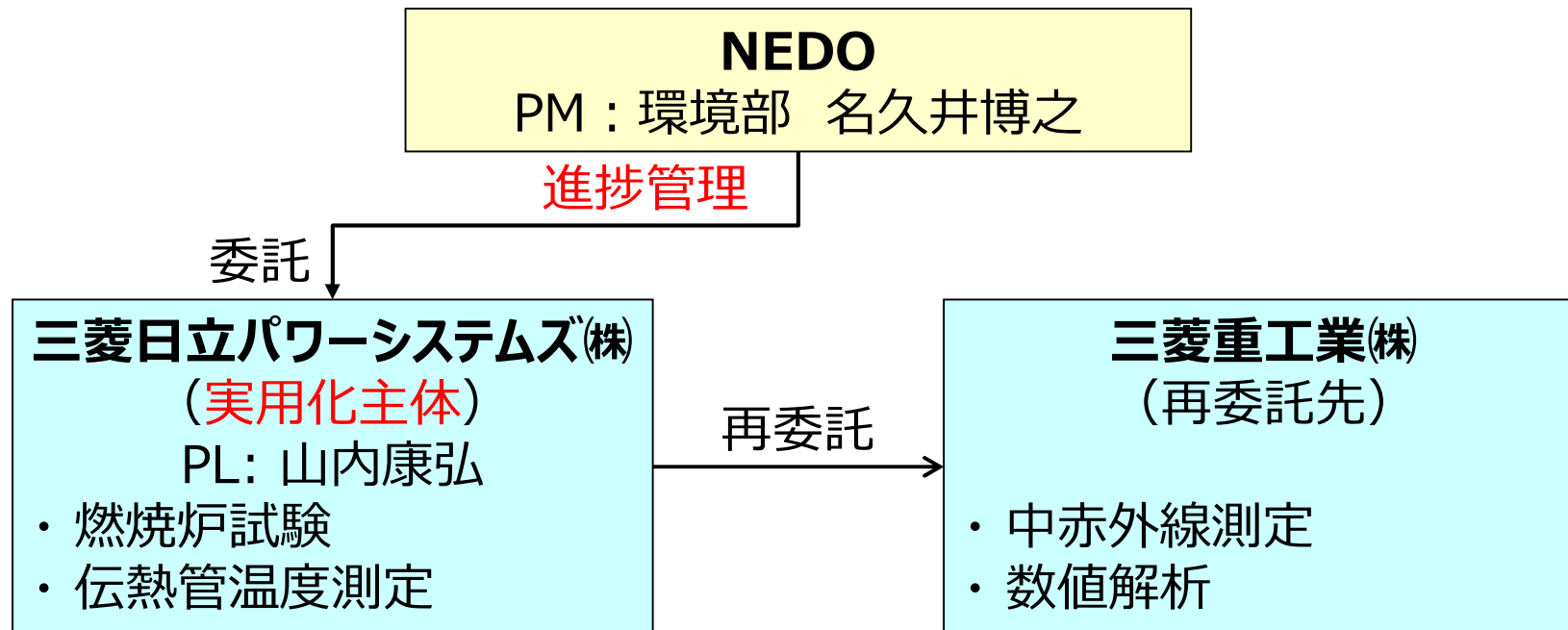
(3) 研究開発の実施体制の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発の実施体制

(微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)



2. 研究開発マネジメント

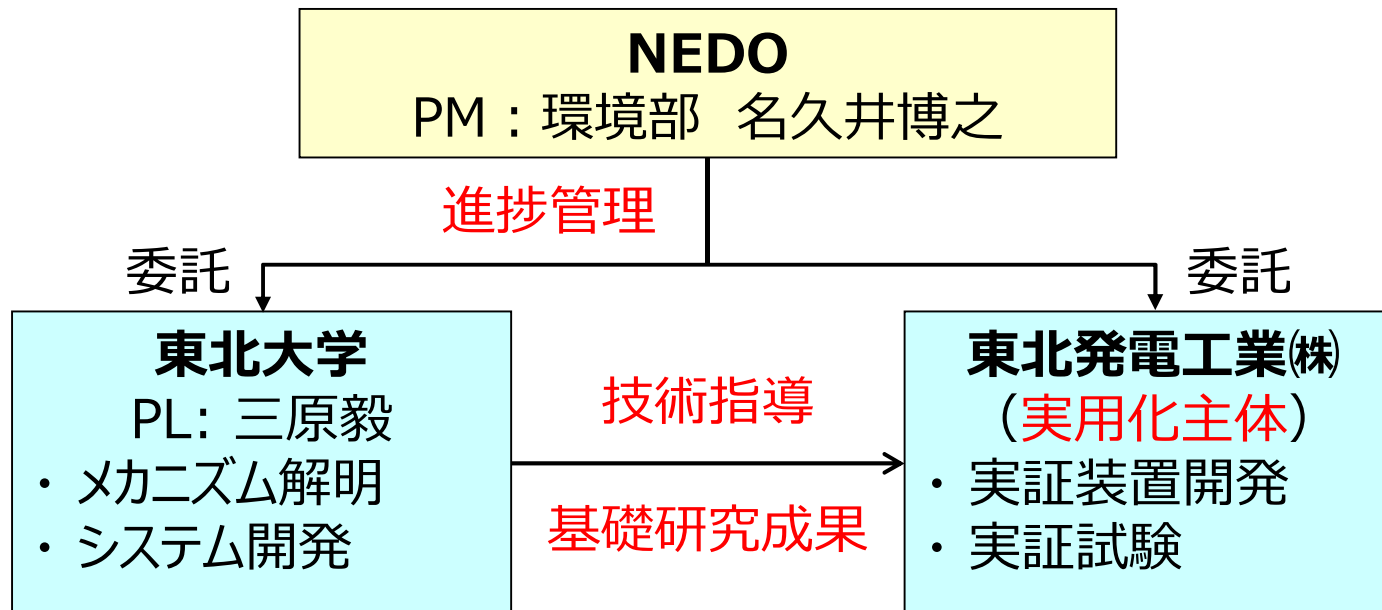
(3) 研究開発の実施体制の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発の実施体制

(クリーブボイド初期検出システムの開発)



2. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発の進捗管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じた。

- PMは、外部有識者で構成する**技術検討委員会**を2019年2月1日に開催し、事業の進捗や計画、目標達成の見通しなどにつき指導・助言を受けることで、より効果的な事業推進に努めた。
- PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の**進捗状況を把握**した。また、毎月、従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により**実施状況を確認**し、目標達成の見通しを常に把握することに努めた。
- PLは、プロジェクト関係者との打ち合わせを頻繁に実施し、各研究開発項目の進捗状況、成果及び課題を把握し、**プロジェクト計画や工程に反映**させた。

- 中間目標も達成しており、よくマネジメントされている。
- 実際使おうとすれば様々な制約があると思うので、それを意識して実施すると将来的な競争力強化につながっていくのではないかと期待している。
- クリープ損傷研究については電力ニーズが非常に高い。
- 石炭火力の競争力強化につながるのではないかと期待している。
- メンテナンス関係で他の国がなかなかできないような研究であり、石炭火力の競争力強化を海外に輸出する非常に大事な技術開発である。
- どちらの技術開発も実用化すると、部品の交換時期や使用限度が分かるようになるので期待している。石炭火力の停止期間を短くすることで、とても競争力が出てくる。
- 実用の世界でできることをしっかり引っ張り出して、社会とつながる形で技術が使えるようになるとうい。

2. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 動向・情勢の把握と対応

- プロジェクト開始時(2017年度)は、日本の石炭火力の**国際的な競争力を向上**させるために、運転・保守品質を高め高稼働率を実現させる技術開発（石炭火力の競争力強化技術開発）を実施してきた。
- ところが、昨今の自然変動電源（太陽光・風力）の導入が拡大する中で、電力の需給バランスを維持し周波数を安定化するために、火力発電等による調整力の一層の確保と信頼性・運用性の向上が求められてきていることから、**2020年度より石炭火力の負荷変動に対応する技術に焦点**を当てた研究開発を実施することとした。
- 負荷変動対応技術は、**日本の石炭火力発電プラントの品質をより高め**、長期保守契約（LTSA）の寄与へつながる。

2. 研究開発マネジメント

(5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 知的財産権等に関する戦略

【基本戦略】

- ◆ ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- ◆ 知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。

- 「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条（委託の成果に係る知的財産権の帰属）の規定等に基づき、原則として、事業成果に関わる知的財産権は全て委託先に帰属させる。

2. 研究開発マネジメント

(5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 知的財産管理

- 本プロジェクトは、「**NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針**」に基づき、日本版バイ・ドール規定の適用等（プロジェクトで得た知的財産権をNEDOが譲り受けない、知的財産権の利用状況調査、未利用成果等の活用促進等）の知的財産マネジメントを実施する。

3. 研究開発成果

- (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2) 成果の最終目標の達成可能性
- (3) 成果の普及
- (4) 知的財産権の確保に向けた取組

3. 研究開発成果



(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況（微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上）

目標	達成状況
炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での伝熱管温度・ガス温度などの 詳細データ 取得する。	【達成した】 大型燃焼試験設備を用い、炭種条件・ガス流れ条件等が異なる条件での伝熱管温度・ガス温度などの 詳細データ を取得できた。
数値解析による伝熱管温度分布予測を実証し、 加熱部最高温度の推定誤差が0～+20℃の範囲 に入ることを確認する。	【達成した】 中赤外線カメラ、レーザー計測装置などで各部温度、炉内伝熱流動状況、伝熱管の灰付着状況等を把握し、数値解析精度の検証を行った結果、 加熱部最高温度の推定誤差が0～+20℃の範囲 に入ることを確認できた。

微粉炭焚きボイラに適用できる、**数値解析を用いた伝熱管の温度推定技術**を開発した。

3. 研究開発成果



(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況（クリープボイド初期検出システムの開発）

目標	達成状況
配管内部の溶接会合部に発生する μm オーダーのクリープボイド 900個/mm^2 程度を検出できる。	【達成した】 使用済配管から試験体を切り出し、 592個/mm^2 のクリープボイドを識別した。
検出時間： 20分	【ほぼ達成した】 60分を 25分 まで短縮した。
寸法・重量：定検現場 可搬 仕様	【達成した】 総重量は 20kg以下 となり、9分割にユニット化して可搬性を高めた。

火力発電の定期点検に実用できる、初期クリープ損傷検出用の精密計測システムを**世界で初めて完成**した。

3. 研究開発成果

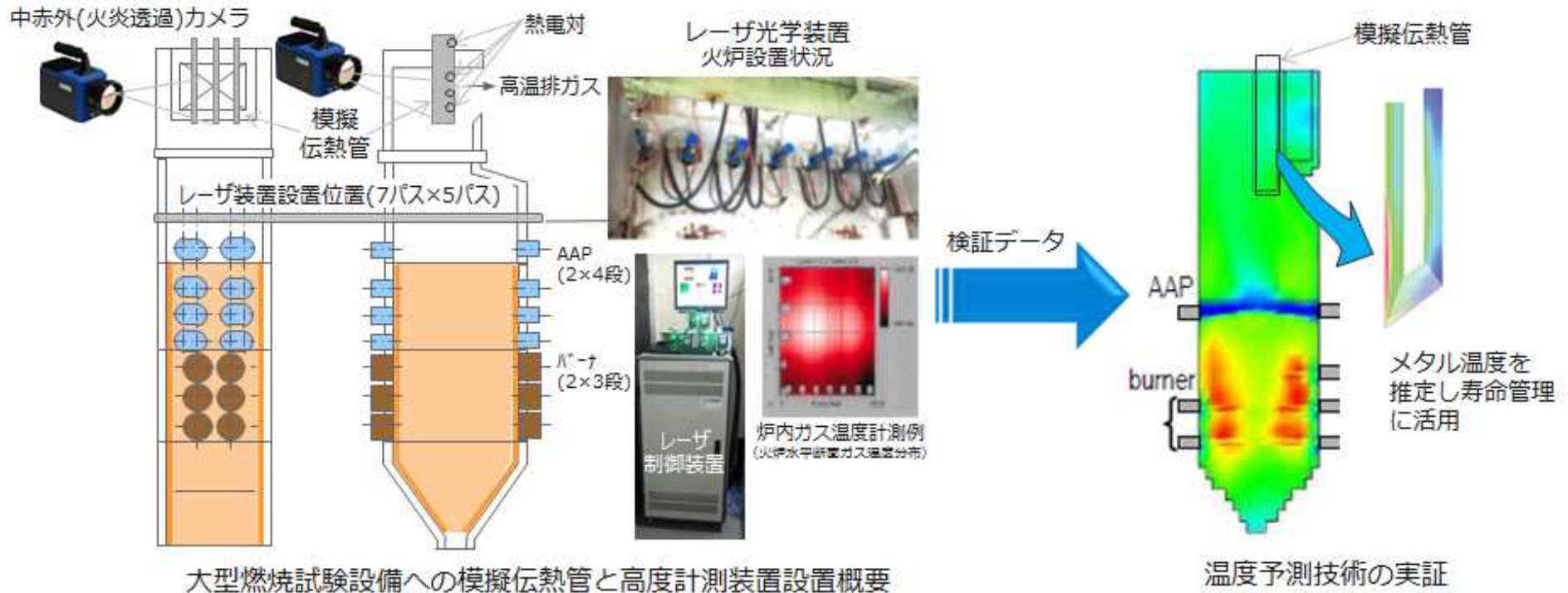


(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果 (微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

大型燃焼試験設備において伝熱管温度・ガス温度などの詳細データを取得し、数値解析による温度推定技術の実証を行った。



3. 研究開発成果



(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果 (微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

大型燃焼試験設備に高度計測装置を導入し、微粉炭燃焼下における炉内燃焼・伝熱・流動場の詳細検証データを取得した。

中赤外線カメラ
火炎透過カメラで伝熱管観察
⇒伝熱管温度を面情報として捉える計測技術を実証

伝熱管への灰付着状況観察例

高速トラバース装置
伝熱管近傍ガス温度の多点計測
⇒伝熱管近傍の伝熱流動場の検証

高速トラバース装置設置例

レーザーCT計測装置 [既設]
火炉上部ガス温度およびガス組成を計測
⇒伝熱管入口近傍の燃焼場検証

断面ガス温度分布計測例

微粉炭流量計
バーナ毎の微粉炭流量を計測
⇒流量偏差把握・数値解析の**インプット条件**への反映

微粉炭流量計センサ (マイクロ波式)

模擬伝熱管
排ガス
レーザー装置設置位置(7パス×5パス)
AAP
バーナ (2例×3段)

38

3. 研究開発成果

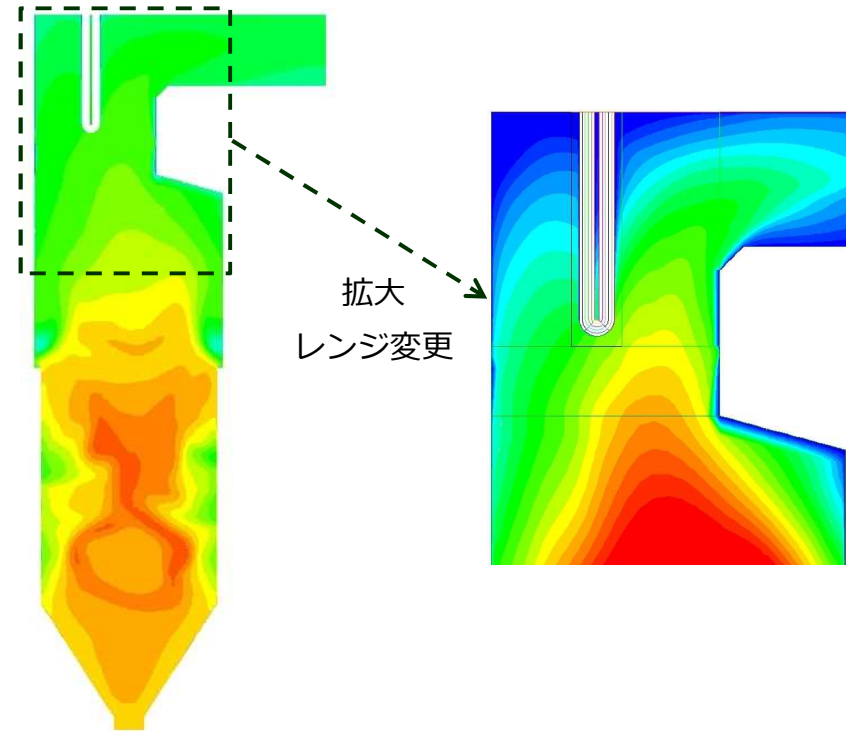
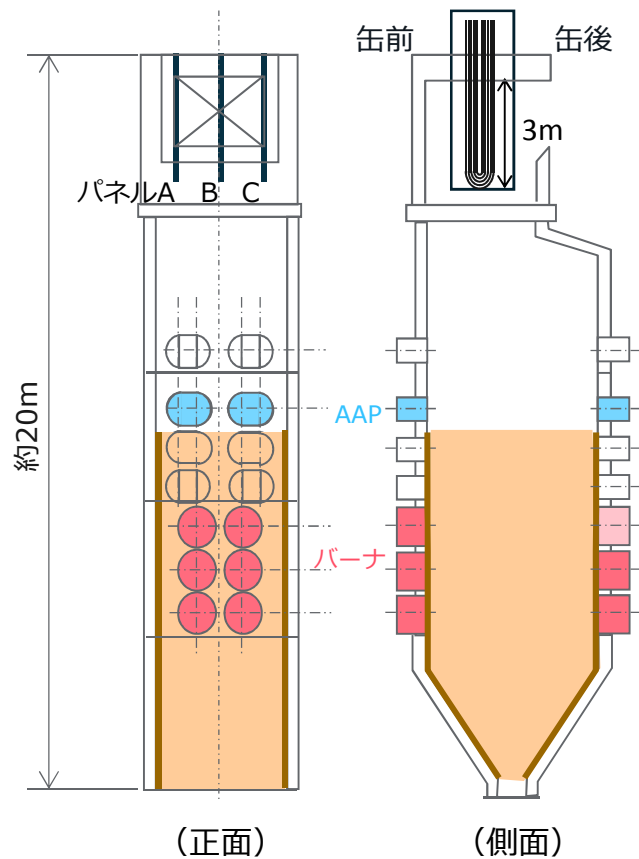


(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果 (微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上)

燃焼炉・模擬伝熱パネルの詳細構造を考慮した炉内の燃焼・伝熱流動場を数値解析。併せて、伝熱管内流体の流量・流れ方向温度変化を考慮した連成解析により、伝熱管各部の温度を計算した。



炉内燃焼・伝熱流動解析結果(ガス温度)

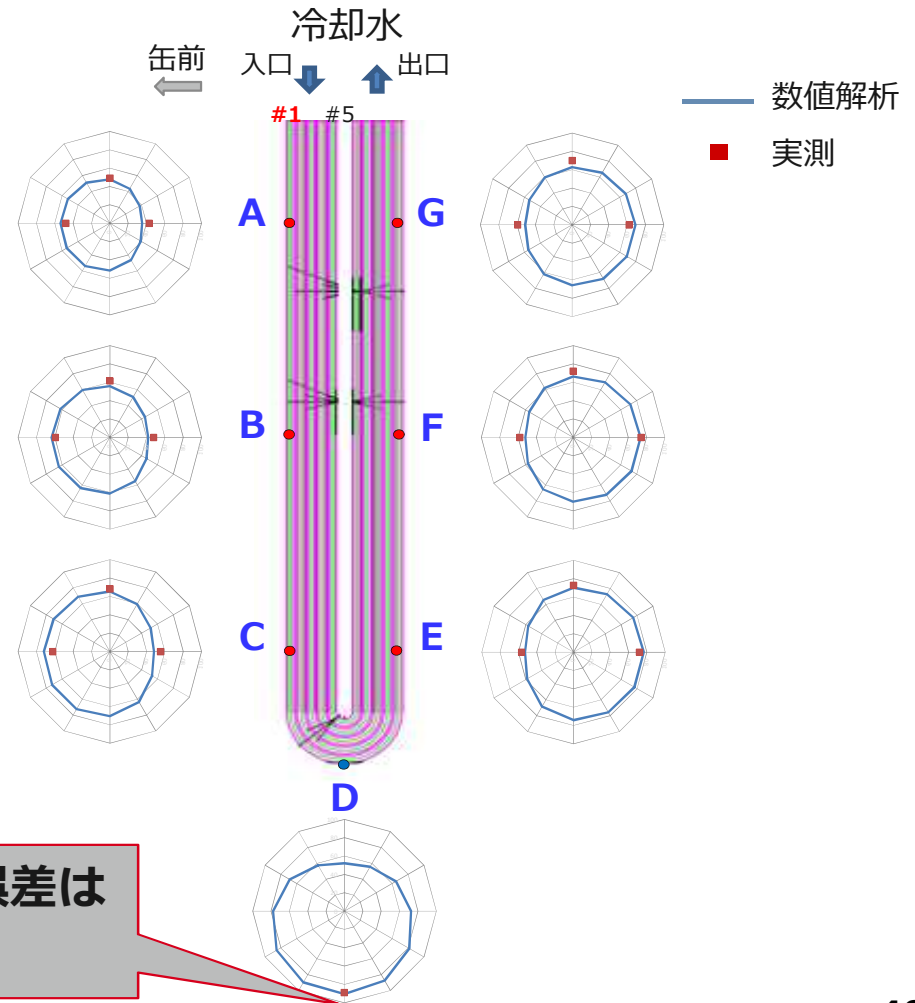
3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果（微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上）

数値解析結果は実測値の温度分布挙動・最高温度を良く捉えており、**数値解析による伝熱管の温度推定技術の有効性を確認**できた。



加熱部最高温度の推定誤差は0~+20℃の範囲内。

3. 研究開発成果



(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 成果の意義（微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上）

- 微粉炭焚きボイラに適用できる、数値解析を用いた伝熱管の温度推定技術を開発した。
- 本事業の成果により、運転中の広範囲な伝熱管温度分布を把握し、**局所高温部を特定**することができる。
- **適切な時期での伝熱管劣化部位の更新**が可能となり、より一層の信頼性が確保できる。

◆ 新たな課題

- 石炭火力の負荷変動時の信頼性向上のため、**火炉壁管も含めた検証**が必要

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果（クリープボイド初期検出システムの開発）

実機石炭火力サイトの定期検査時に、9%Cr鋼製の主要配管で経年損傷初期のクリープボイド密集を検出できる、超精密音響映像システムを世界に先駆けて開発した。



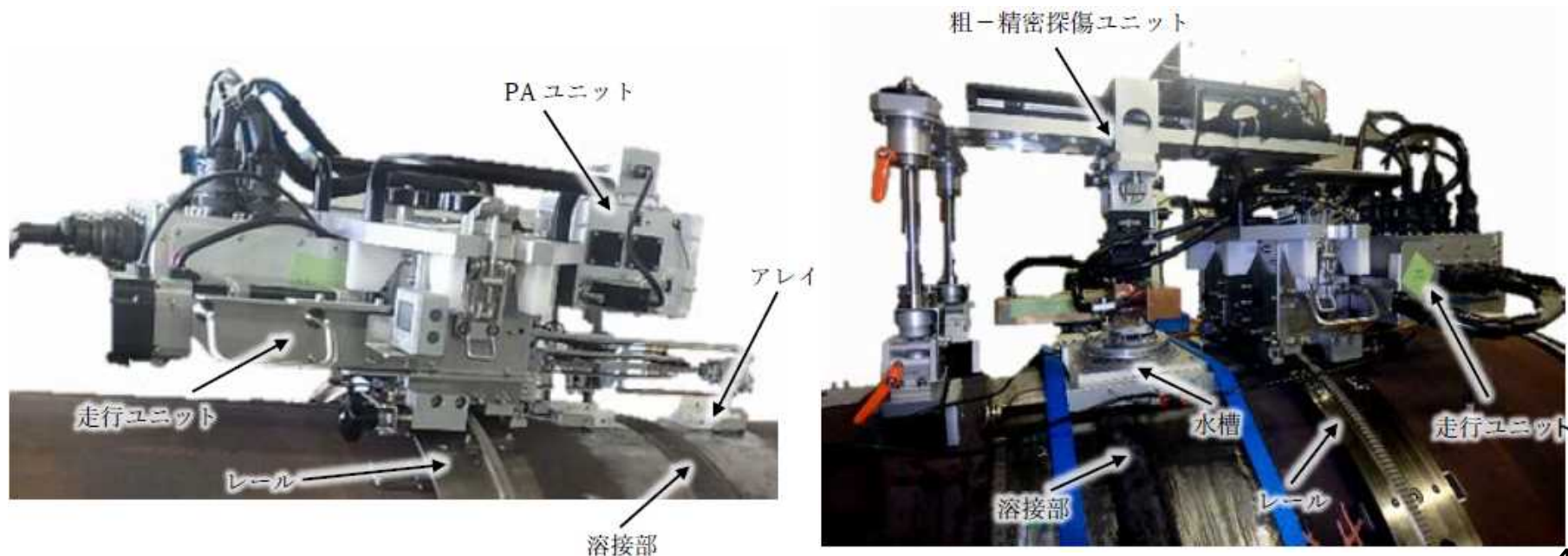
3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果 (クリープボイド初期検出システムの開発)

開発したシステムは、巨視的溶接接手部の音響像を得るための**超音波フェーズドアレイ**(PA:**左図**)で損傷が顕著な会合部を同定し、その後10 μ mピッチの音響映像による**粗探傷**、さらに1 μ mピッチの**精密探傷**(**右図**)の3段階計測を実施し、クリープボイドの初期損傷がモニタリングできる仕様である。



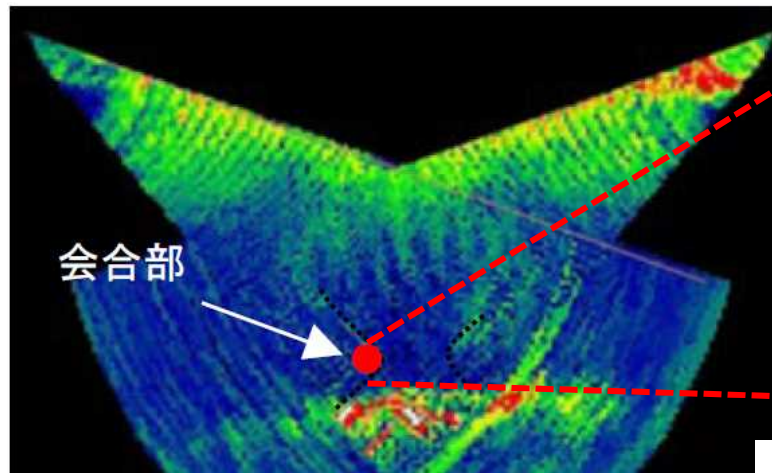
3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

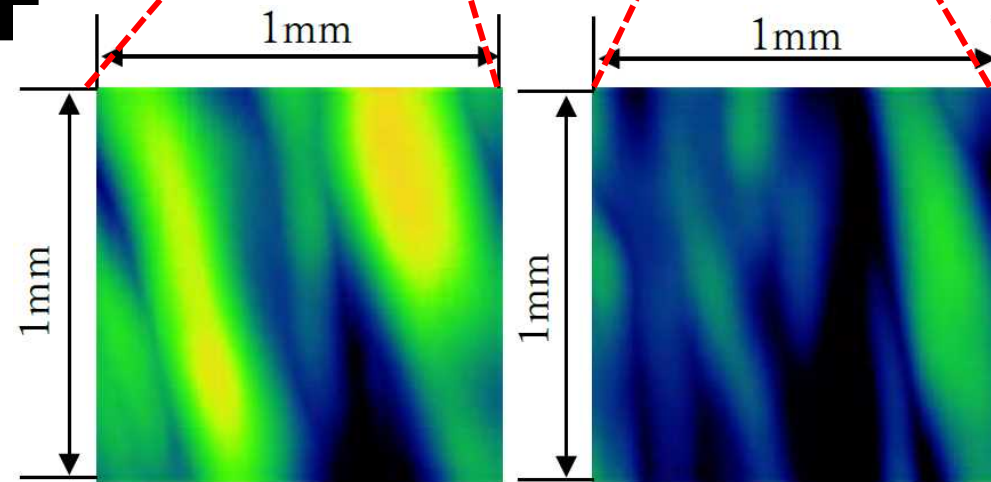
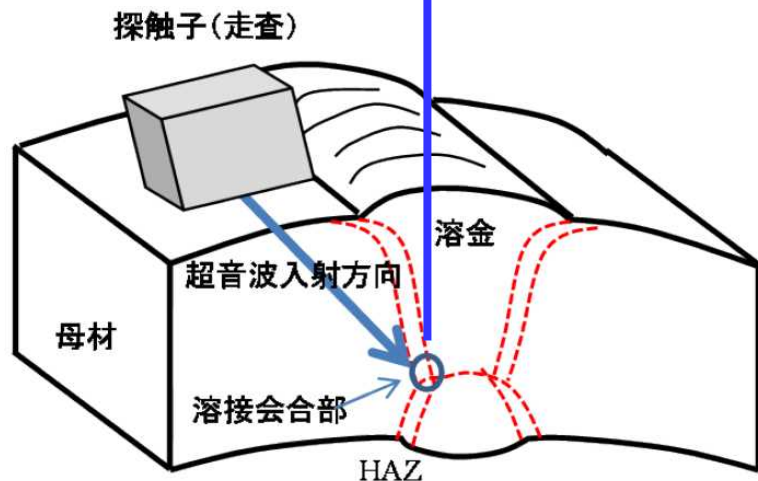
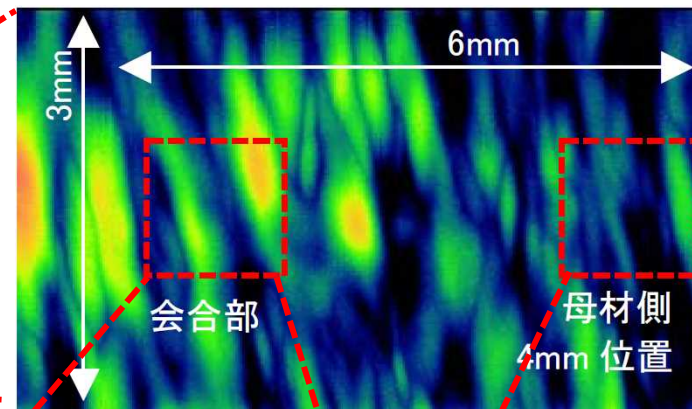
New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果 (クリープボイド初期検出システムの開発)

超音波フェーズドアレイ音響像



粗探傷音響像



精密探傷音響像

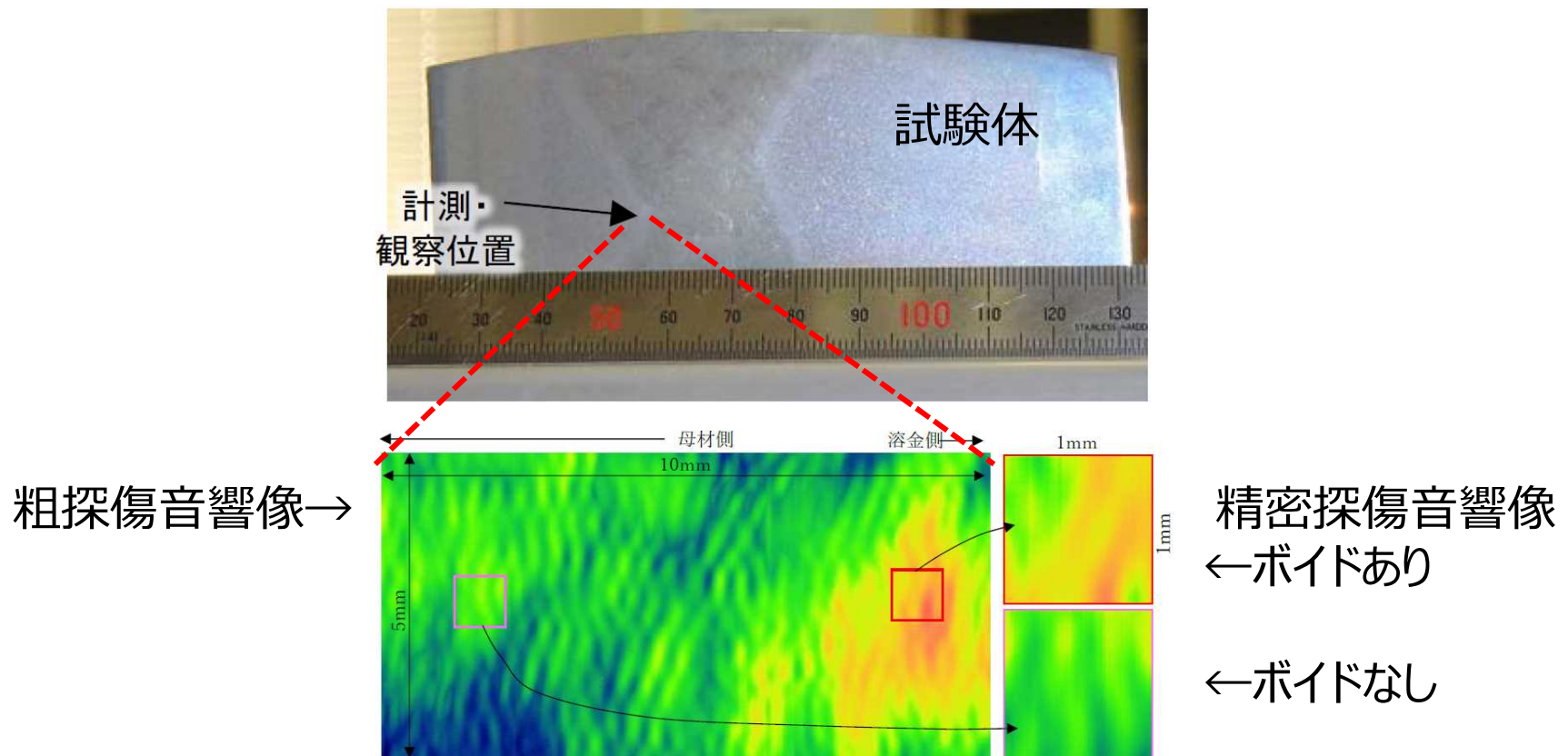
3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果 (クリープボイド初期検出システムの開発)

使用済配管から試験体を切り出し、**592個/mm²**のクリープボイドの有無を識別した。



3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 各個別テーマの成果（クリープボイド初期検出システムの開発）

総重量は20kg以下となり、9分割にユニット化して可搬性を高めた。



レールユニット



走行ユニット



フェーズドアレイユニット



粗-精密探傷ユニット

3. 研究開発成果



(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 成果の意義（クリープボイド初期検出システムの開発）

- 現在、工業部材内部欠陥の中核的非破壊検査手法である超音波探傷法は、最新鋭の超音波フェーズドアレイシステムを含め全てmmオーダーの欠陥検出を目標とした仕様で開発されている。
- 一方、本研究成果は、クリープ損傷の初期段階としての**ボイド密集** (μm オーダー)を、**現場で定量的に評価**できる精密音響装置を、世界で初めて成功。

◆ 新たな課題

- 石炭火力の負荷変動の増加に伴い、クリープ損傷が加速することから、広範囲な探傷が可能な**超音波フェーズドアレイの高解像度化**が必要

3. 研究開発成果

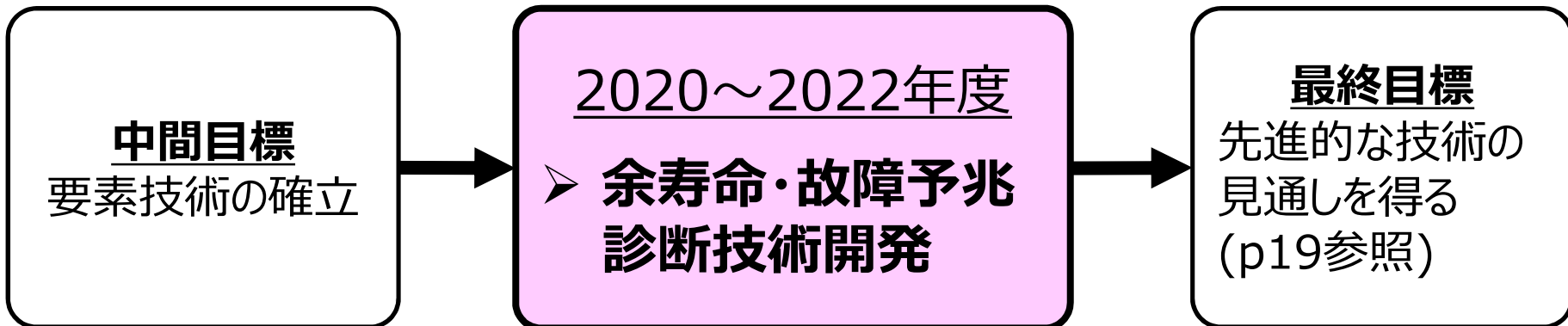


(2) 成果の最終目標の達成可能性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 成果の最終目標の達成可能性（見通しと課題）

- 火炉壁管も含めた温度推定技術の検証と超音波フェーズドアレイの高解像度化が課題
- 2020～2022年度の技術開発により、これらの課題を解決し、**先進的な余寿命・故障予兆診断技術の見通しを得る。**



3. 研究開発成果

(3) 成果の普及



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 成果の普及

- 得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努めた（NEDO主催の環境技術分野事業報告会や電力会社向け技術成果発表会、実施者による学会発表等）。
- 今後、国際ジャーナルに4報程度の投稿を予定している。

【参考】環境技術分野事業報告会



New Energy and Industrial Technology Development Organization

- NEDOは2018年7月19日、NEDO本部において「NEDO環境技術分野事業報告会」を開催した。
- この報告会の中で、本プロジェクトに関する概要やこれまでの成果と今後の方針を報告した。



【参考】電力会社向け成果発表会



New Energy and Industrial Technology Development Organization

- ユーザニーズを研究開発に反映させると共に、研究成果の早期社会実装を促進させることを目的に、その成果を**社会実装の主体となる電気事業者**へ紹介する「NEDO火力発電技術開発成果発表会」を開催した。
- 事前アンケートで10電力中、7電力が本事業の発表を希望した。
- 本事業については、「重要な課題でニーズに合っている」との感想を得た。

日時	2019年11月15日
場所	NEDO本部
参加者	9電力 + 電事連 + 電中研 計51名



【参考】学会発表



New Energy and Industrial Technology Development Organization

所属	タイトル	会議名	発表年月
東北発電 工業株式 会社	高クロム鋼溶接部 TypeIVクリープボイド 検出方法の提案	一般社団法人日 本非破壊検査協 会 平成30年度 秋季講演大	2018年 11/15
三菱日立 パワーシス テムズ、三 菱重工業	微粉炭焚きボイラ伝 熱管温度予測技術 の実証	第24回動力・エネ ルギー技術シンポジ ウム	2019年 6/20
三菱日立 パワーシス テムズ、三 菱重工業	微粉炭焚きボイラ伝 熱管温度予測技術 の実証	日本機械学会 中 国四国支部 第58 期総会・講演会	2020年 3/6

3. 研究開発成果



(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

New Energy and Industrial Technology Development Organization

① 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

- 「数値解析による温度推定技術」は顕現性が低いことから、知的財産権保護の観点から特許出願せず **ノウハウとして秘匿**する。

② クリープボイド初期検出システムの開発

- **基本特許**「超音波を用いた経年損傷火力発電器のTypeIVクリープボイドの実機評価方法」については2016年に**出願済み**。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組 及び見通し

- (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3) 成果の実用化・事業化の見通し

「実用化・事業化」の考え方

実用化とは、当該研究開発で開発した「伝熱管メタル温度予測技術」を国内微粉炭焚き火力発電所に適用し、実機ボイラの運転・信頼性向上に寄与することおよび「主要配管初期クリープ損傷検出用精密計測システム」をUSC石炭火力発電プラントにおいて検証を重ね、当該プラントの余寿命評価手法として確立することである。

事業化とは、それらの実績を元に、国内外の微粉炭焚き火力発電所に開発技術を普及・展開することにより、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

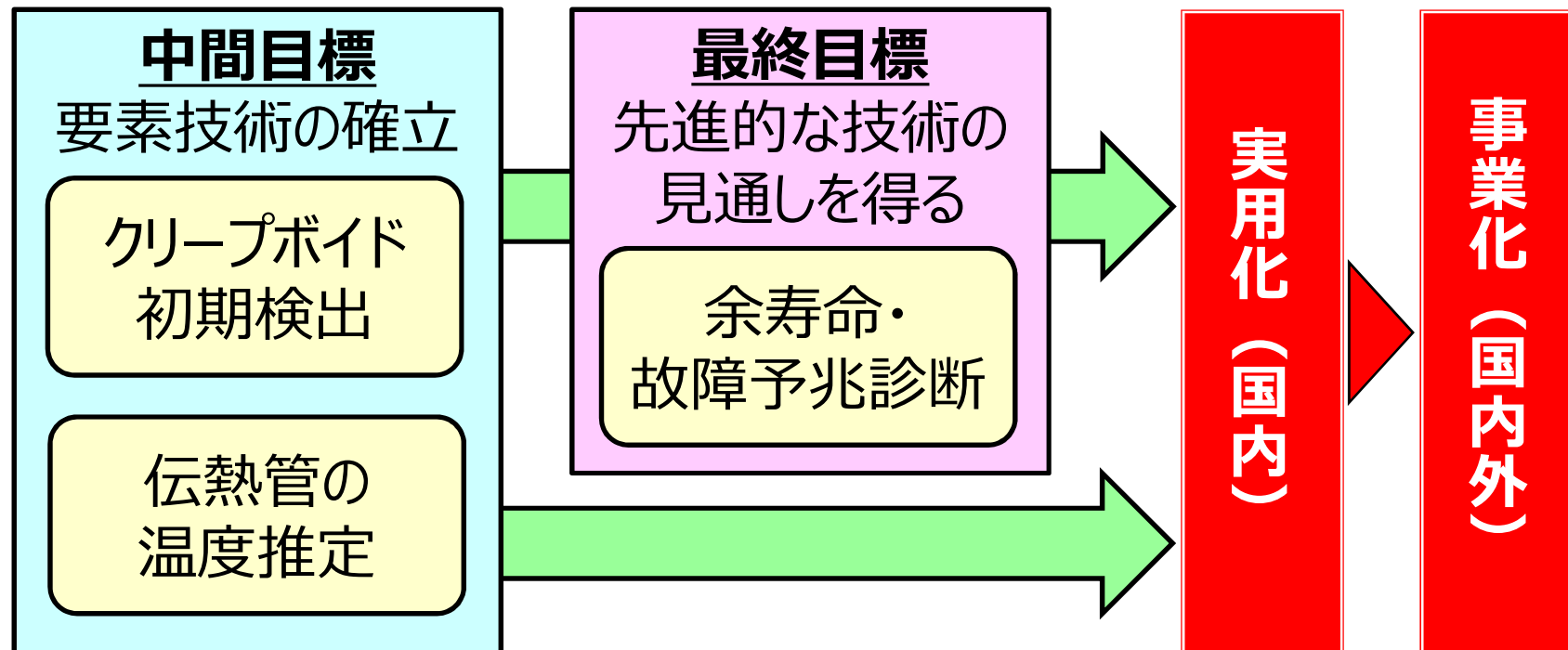
4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

New Energy and Industrial Technology Development Organization

- 本事業において、各種モニタリング・センシング・解析等の**要素技術**を**確立**し、更に保守・運用性を向上させるための**先進的な技術の見通し**を得て、**国内での実用化・国内外での事業化**につなげる。
- 一部、確立した**要素技術の実用化・事業化**も目指す。



4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

New Energy and Industrial Technology Development Organization

① 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

- 石炭火力発電の過熱器、再熱器等に用いられている耐熱金属材料は経年的に強度が低下する性質を持つことから、適切な時期に更新を行うことが必要であるが、伝熱管加熱部に多数の熱電対を設置して長期間監視する手法は、熱電対の耐久性・経済性から現実的ではない。
- 本事業の成果により、少数の計測点から各部の温度推定を正確に行うことで、少ない投資で各部の寿命管理が可能となる。
- また、本事業で開発された伝熱管の**温度予測技術をボイラ火炉に拡張**することで、ボイラ構造部材の寿命予測が可能となり、より有用な技術として**国内外の微粉炭焚きボイラへの普及・展開**を見込む。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

New Energy and Industrial Technology Development Organization

② クリープボイド初期検出システムの開発

- 各電力会社が共通で抱える**超々臨界（USC）石炭火力主要配管溶接部の保全**において、クリープボイドの評価法開発に切実なニーズがある。
- 本事業でUSC石炭火力実機プラント主要配管溶接内部の**クリープボイド密集度計測システムを開発**した。
- 利用形態としては、石炭火力発電プラントの**定期検査**におけるクリープボイド密集度評価を行い、発電事業者の**保全計画に資するデータ提供**を実施する形態を想定している。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

New Energy and Industrial Technology Development Organization

① 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

- 国内微粉炭焚き火力発電所において、**実機スケール**（ボイラ本数、伝熱パネル枚数、火炉サイズなど）での長時間の検証を行う。
- 世界的な再生可能エネルギー導入拡大に伴い、石炭火力の負荷調整力向上ニーズが高まっており、負荷変動時の信頼性向上のため、**火炉壁管も含めた検証**を実施する。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

New Energy and Industrial Technology Development Organization

② クリープボイド初期検出システムの開発

- 国内USC石炭火力発電プラントにおいて検証を重ね、当該プラントの余寿命評価手法として確立させて、業務開始する。
- 課題としては、本技術の一般的な認知度を広げることと適用箇所の拡大と考えている。
- 認知度に関しては実績や技術の発表等、適用箇所に関しては主要配管の管台等への拡大を検討する。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(3) 成果の実用化・事業化の見通し

New Energy and Industrial Technology Development Organization

① 微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上

➤ 実用化・事業化は下記の3ステップを計画している。

① 2019年度まで : 大型試験設備による実証試験

② 2021年度まで : 国内微粉炭焚き火力発電所での実機検証

③ 2022年度以降 : 実用化・事業化

➤ 2019年度までの大型試験設備による実証試験（本事業）において、伝熱管の温度推定の目標精度を達成。

➤ 今後は、国内微粉炭焚き火力発電所において、開発技術のボイラ火炉への拡張も含めた長時間の実機検証を行い、**2022年度以降の実用化・事業化**を目指す。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(3) 成果の実用化・事業化の見通し

New Energy and Industrial Technology Development Organization

- ◆ **波及効果**（微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術の向上）
 - 微粉炭焚きボイラの運転・信頼性向上技術を確立することで、日本の石炭火力発電の**競争力強化に寄与**できる。
 - 石炭火力発電の負荷調整力が向上することで、系統安定性を担保したうえでの**再生可能エネルギーの導入量増加**が期待できる。
 - また、負荷調整力向上により**運用性が向上**するため、既存石炭火力の活用に繋がる。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(3) 成果の実用化・事業化の見通し

New Energy and Industrial Technology Development Organization

② クリープボイド初期検出システムの開発

- 本事業終了後、2年間は国内のUSC石炭火力発電プラントで実績を蓄積する。
- 3年目からは、同プラントでの実績をベースに、国内のシェア拡大に繋げていく。
- また、シェアの拡大見込みを基に、検査会社へのライセンス供給も視野に入れ、日本国内技術のシェア拡大に繋げていく。

4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



(3) 成果の実用化・事業化の見通し

New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆ 波及効果（クリープボイド初期検出システムの開発）

- 現在、USC石炭火力発電プラント溶接部内部におけるクリープ損傷評価のニーズは大きいですが、専門家の間でも**既存の技術では微小損傷（クリープボイド）の計測は不能**と考えられている。
- 本事業成果で実機**クリープ損傷の初期段階が評価できることを実証**することは大きなインパクトを持つと考えられる。
- また、国内外における研究成果発表、論文投稿等を通じ、当該技術に関する認知度を広げることで**関連技術*の展開**も図られるものと考えている。

* 関連技術

- 自動車鋼板などで問題となってきた鋼製造過程における金属間介在物の評価
- 医療超音波で多用される水中マイクロバブルの評価
- 各種材料の経年損傷に伴う微視組織評価 等

補足資料

【参考】 クリープ損傷メカニズム

- 既存の実機石炭火力発電設備主要配管溶接部では、以前から**溶接部内**を起点とする**クリープポイド**が知られていた。
- 近年特に**図1**に示す様に、**HAZ**（Heat Affected Zone：熱影響）部**細粒域に発生**するTypeIVと呼ばれるクリープポイドが注目されている。
- **密集**したクリープポイドが急激に**連結**してマイクロなき裂となり、さらにマイクロなき裂に急速に連結・**成長**して破断（事故）に至るメカニズムが内外の研究で顕在化した。

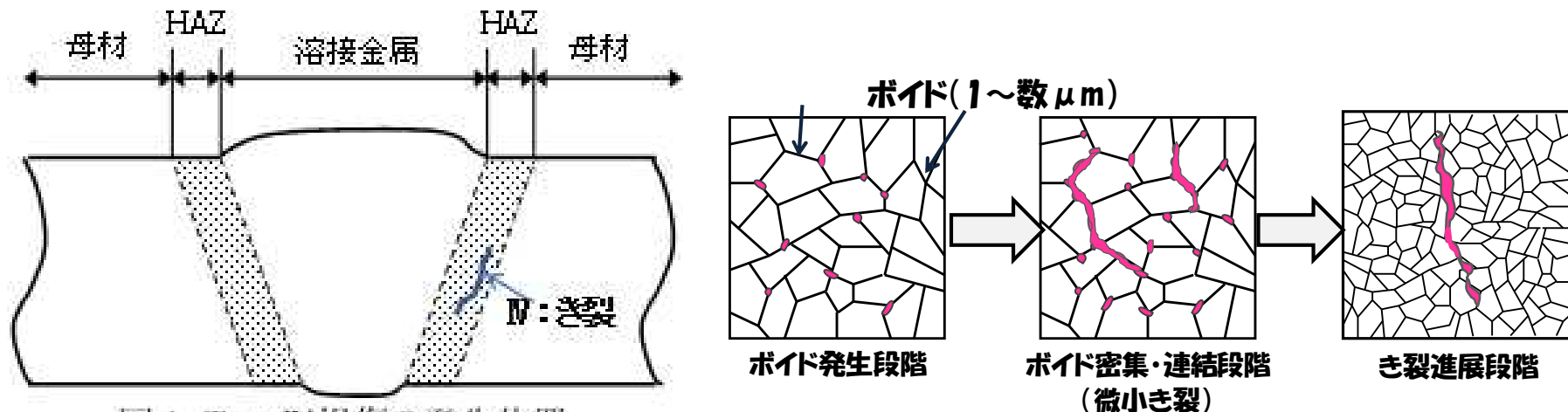


図1 TypeIV損傷の発生位置

【参考】 USCプラントの概要図

- 特に**USC**の主要配管に用いられる**高Cr鋼**の溶接部においては、TypeIVクリープボイドの発生は溶接熱履歴等に依存し、部材内部となる。

