

「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」

中間評価報告書

2021年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

2021年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「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」

中間評価報告書

2021年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

## 目次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-5
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-16
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

## はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「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)分科会において評価報告書案を策定し、第63回研究評価委員会(2021年1月8日)に諮り、確定されたものである。

2021年1月  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（2020年6月22日）

#### 公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明

#### 公開セッション

7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

### ● 第63回研究評価委員会（2021年1月8日）

「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」

中間評価分科会委員名簿

(2020年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	なるせ 成瀬 いちろう 一郎	名古屋大学 未来材料・システム研究所／大学院工学研究科機械システム工学 所長／教授
分科会長代理	おがた 緒方 たかし 隆志	千葉工業大学 工学部 機械工学科 教授
委員	いはら 井原 いくお 郁夫	長岡技術科学大学大学院 工学研究科 機械創造工学専攻 専攻長／教授
	おおたに 大谷 としひろ 俊博	湘南工科大学 工学部 機械工学科 教授
	おかべ 岡部 はるみ 治美	東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 材料・化学エリア 主任研究員

敬称略、五十音順

## 評価概要

### 1. 総合評価

当該プロジェクトは、日本のみならず、国内外、とりわけ新興国や途上国における新設・既設微粉炭ボイラの発電効率向上（微分的向上）と稼働率向上（積分的向上）の両者に貢献するものである。「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」及び「クリープボイド初期検出システムの開発」とともに、研究開発時点での電気事業のニーズは高く、研究成果が電気事業に貢献できる NEDO 事業として適切な研究テーマである。両テーマで現状の技術レベルを超える目標を設定し、中間評価時点で初期の目標を概ね達成できたことは評価できる。前者のテーマについては、この技術が実用化されれば、運転、補修、改造、建設（設計）等を計画する際に役立つ技術であり、市場ニーズは大きい。後者のテーマについても、ボイド密集を現場で定量的に評価できる可能性のある超音波計測装置を開発していることは高く評価できる。

一方で、前者のテーマについては、温度推定誤差が改善されたことにより、伝熱管の寿命診断に解析による温度推定法が活用されるか、活用されるためにどのようなアプローチがなされるのか、を明確にする必要がある。後者のテーマについては、クリープボイド検出結果をどのように当該プラントの余寿命評価に結びつけるか、どのように余寿命評価手法を具現化・実用化するのかについて、期間内の目標達成のため、具体的な技術課題ロードマップを示してほしい。

今後、研究プロジェクト開始当初から電気事業のニーズが変化してきているところもあるため、再度電気事業におけるニーズを明確にし、研究成果の活用方策を見直す必要がある。成果の実用化・事業化という観点では、当該開発システムを USC（超々臨界圧発電）石炭火力発電プラントに適用して、その検証を重ね、評価の定量性と信頼性を高めることが必要と思われる。研究開発段階において外部発表を積極的に実施し、有識者と議論するとともに、電気事業のニーズを把握し、活用される研究成果の創出に期待したい。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

地球温暖化対策として CO<sub>2</sub> の総量規制がなされるなか、日本だけでなく発展途上国でも、石炭火力の必要性は高い。国内での電力供給の調整力として石炭火力発電のニーズは根強いものがあり、その設備の信頼性確保は重要課題である。当該事業の目的は、日本で培われた微粉炭ボイラ管理技術をさらにブラッシュアップし、国内外のボイラへの展開等に繋げる意味で極めて重要な事業である。また、個々の電力事業者のみの問題ではなく、全国の事業者に通じた問題であることから、NEDO 事業として実施する意義は大きい。近年、世界的な逆風の中で、民間企業における石炭火力の研究への投資が困難となる中で、NEDO のような公の事業者がこの研究を実施する価値は高い。

一方、成果については、事業化あるいは社会実装することによって、初めて NEDO 事業



としての意義が達成されることから、地球規模の CO<sub>2</sub> の削減貢献のみならず、新設の場合には初期投資と維持管理、既設については維持管理の経済的なメリットをもう少し定量的に示すと共に、現在あるいは今後の火力発電所の運用保守形態を十分に調査し、これを踏まえた費用削減効果を算出してほしい。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

今回の開発目標は、故障予知・寿命予測等による保守技術や機器の信頼性の向上に繋がるものである。実施者の連携関係、指揮命令系統、責任体制は明確である。目標達成のためのスケジュールや、研究開発の進捗管理も妥当であると判断できる。

一方、「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」と「クリープボイド初期検出システムの開発」との連携が不足しているように思われるため、両者が融合することによる相乗効果を示したほうが良い。また、目標設定とそれによる成果の関係や費用対効果を明確にしてほしい。更に、本事業の知的財産戦略を改善してほしい。NEDO 事業がその成果の実用化・事業化を目指していることを踏まえると、もう少々積極的な戦略を取り入れることを期待する。

今後、既存2テーマの終了に伴い新規テーマが開始されるが、NEDO のマネジメントの工夫をはかり、過去の研究開発プロジェクトとは一線を画すような実用化・事業化に直結した成果を期待したい。

## 2. 3 研究開発成果について

いずれの研究開発においても定量的な数値目標を掲げ、それを達成している点については高く評価できる。「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」では、大型燃焼試験設備で詳細データを取得することにより数値解析結果の検証を可能とし、一定の解析精度を達成したことは評価できる。「クリープボイド初期検出システムの開発」では、肉厚内部の  $\mu\text{m}$  オーダーのボイドを検出可能とした点は大変有意な成果であり、世界でもトップクラスであると思われる。更に、論文等の対外的な発表も実施しており評価できる。

一方で、前者のテーマについては、実機適用上での課題があると思われることから、実機で生じるクリンカの付着・脱落、減肉による影響を考慮した温度解析手法の開発と、それをベースにした管の寿命予測法や管交換時期判定法の開発を目指してほしい。後者のテーマについては、ボイド検出の再現性や検出限界のため、複数の対象部材に対する計測やデータの定量化等が必要と思われる。

## 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

「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」及び「クリープボイド初期検出システムの開発」に関するそれぞれの要素技術の確立に向けて具体的な数値目標を掲げて、それを達成すべく取り組み、一定の成果を挙げている点は評価できる。いずれのテーマも、その最終目標が実現されれば、現場ニーズに合致するすばらしい技術であり、実用化を期待したい。想定する市場の規模・成長性等から、多少の経済効果も期待できると思われる。

しかしながら、成果の実用化・事業化の戦略は、現状のままでは不明確と思われる。前者のテーマにおいては、温度解析誤差を縮めたことによって、伝熱管の寿命予測や交換管理に本ソフトが使用されるニーズが増す、とする理由を更に掘り下げてほしい。本ソフトを使用した伝熱管の寿命管理手順や保守コストの低減効果を明確に示し、それに対するユーザーの意見等を調査しておくことが必要である。また、後者のテーマにおいては、高精度な要素技術を開発することで経年損傷初期のクリープボイド密集の検出が可能になったとしても、その損傷部材の余寿命を定量的に評価することは必ずしも容易ではないことから、高精度・高信頼性のクリープ損傷計測システムの完成とそれに基づく高精度な定量的余寿命評価手法の構築を早期に実現し、その実機への適用と検証を実施してほしい。

今後の展開として、自社ボイラのみならず、他社ボイラ、さらには、性能が低いボイラへも適用できると思われることから、事業化においては、ユーザーの利便性向上のため、特定メーカーの製品に限らず汎用的に利用できる実施形態への検討を期待したい。

## 研究評価委員会委員名簿

(2021年1月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 参与・名誉教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	株式会社日経 BP 日経バイオテック編集 シニアエディター
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まきひこ 平尾 雅彦	東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	東海国立大学機構名古屋大学 名誉教授
よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員	

敬称略、五十音順

## 研究評価委員会コメント

第63回研究評価委員会(2021年1月8日開催)に諮り、本評価報告書は確定された。  
研究評価委員会からのコメントは特になし。

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

## 1. 総合評価

当該プロジェクトは、日本のみならず、国内外、とりわけ新興国や途上国における新設・既設微粉炭ボイラの発電効率向上（微分的向上）と稼働率向上（積分的向上）の両者に貢献するものである。「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」及び「クリープボイド初期検出システムの開発」とともに、研究開発時点での電気事業のニーズは高く、研究成果が電気事業に貢献できる NEDO 事業として適切な研究テーマである。両テーマで現状の技術レベルを超える目標を設定し、中間評価時点で初期の目標を概ね達成できたことは評価できる。前者のテーマについては、この技術が実用化されれば、運転、補修、改造、建設（設計）等を計画する際に役立つ技術であり、市場ニーズは大きい。後者のテーマについても、ボイド密集を現場で定量的に評価できる可能性のある超音波計測装置を開発していることは高く評価できる。

一方で、前者のテーマについては、温度推定誤差が改善されたことにより、伝熱管の寿命診断に解析による温度推定法が活用されるか、活用されるためにどのようなアプローチがなされるのか、を明確にする必要がある。後者のテーマについては、クリープボイド検出結果をどのように当該プラントの余寿命評価に結びつけるか、どのように余寿命評価手法を具現化・実用化するのかについて、期間内の目標達成のため、具体的な技術課題ロードマップを示してほしい。

今後、研究プロジェクト開始当初から電気事業のニーズが変化してきているところもあるため、再度電気事業におけるニーズを明確にし、研究成果の活用方策を見直す必要がある。成果の実用化・事業化という観点では、当該開発システムを USC（超々臨界圧発電）石炭火力発電プラントに適用して、その検証を重ね、評価の定量性と信頼性を高めることが必要と思われる。研究開発段階において外部発表を積極的に実施し、有識者と議論するとともに、電気事業のニーズを把握し、活用される研究成果の創出に期待したい。

### <肯定的意見>

- 当該プロジェクトは、日本のみならず、国内外、とりわけ新興国や途上国における新設・既設微粉炭ボイラの発電効率向上（微分的向上）と稼働率向上（積分的向上）の両者に貢献するものである。ひいては、省資源や地球規模の総体的な CO<sub>2</sub> 削減に寄与する。
- 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」および「クリープボイド初期検出システムの開発」とともに、研究開発時点での電気事業のニーズは高く、研究成果が電気事業に貢献できる NEDO 事業として適切な研究テーマである。両テーマで現状の技術レベルを超える目標を設定し、中間評価時点で初期の目標を概ね達成できたことは評価できる。
- 「クリープボイド初期検出のためのセンシング技術」に着手され、ボイド密集を現場で定量的に評価できる可能性のある超音波計測装置を開発されていることは高く評価できる。
- 今回実施された研究テーマは、これまで必要とされてきた課題を含んだ研究だと思われる。そして、設定された中間目標を達成されたことに敬意を表します。

- NEDO のような公の事業者がこのような石炭火力研究を実施する意義は高い。
- 伝熱管の温度推定技術の向上については、この技術が実用化されれば、運転、補修、改造、建設（設計）等を計画する際に役立つ技術であり、市場ニーズは大きいことと思う。
- クリープボイド初期検出システムの開発については、肉厚内部の  $\mu\text{m}$  オーダーのボイドを検出可能としたことは、非破壊検査の要素技術の開発という点で非常に大きな成果である。

#### <改善すべき点>

- せっかく 2 つの内容の研究開発を実施しているので、両者がもっと有機的に連携しているような成果あるいは情報発信をして頂きたい。
- 研究マネジメントにおける費用対効果の算出根拠や、温度推定精度の向上、ボイド検出精度の向上が図られたときの効果の見積もりには疑問が残る。研究成果の適用による現実的な費用対効果の見積もりがなされるべきである。
- 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」においては、温度推定誤差が  $+30^{\circ}\text{C}$  から  $+20^{\circ}\text{C}$  に改善されたことにより伝熱管の寿命診断に解析による温度推定法が活用されるか、活用されるためにどのようなアプローチがなされるのかが明確でない。本温度推定手法が開発されたことによるユーザーのメリットや費用対効果を明確にする必要がある。
- 「クリープボイド初期検出システムの開発」においては、最大の成果である  $592$  個/ $\text{mm}^2$  のボイド個数密度（ボイド密集組織）と実際に計測された非破壊検査結果との関係が示されていない。さらに、検出されたボイド個数密度から、どのように余寿命を評価するのかを明確にする必要がある。また、開発された超音波計測システムによってどのように検査が実施されるのか（配管下側でのデータ収集は可能か、精密探傷までも含めて 25 分で可能か、など）が明確には理解できなかった。
- 上記、2 研究テーマで多額の研究費が使用されているが、学会誌への論文投稿や学協会での発表が極めて限られており、外部公表が十分になされたとは言いがたい。
- 超音波後方散乱を活用した材料損傷および余寿命評価の研究はこれまでも数多く実施されてきた。本研究開発は基礎研究というカテゴリーではなく、実用化・事業化を目指した NEDO 事業であることを踏まえ、発電事業者との協働の下、企業所有の USC 石炭火力発電プラントにおける検証を積み重ね、統計学的にも信頼性の高いロバストな余寿命評価法を確立することを目指して頂きたい。
- 現状で、温度推定による寿命延長の考え方の見直しが必要と考えます。クリープだけでなく、負荷変動による疲労効果が考えられるので、その辺を考慮しないと温度の誤差が下がっても寿命が延びるとは限らないので
- 超音波計測については、計測結果が少ないので、ボイド個数密度の異なる供試材での評価や画像化した場合の閾値の設定等の妥当性を示していただきたい。
- 伝熱管の温度推定技術の向上の目標精度については、ユーザーメリットを出すためには、どの程度とすべきかという観点で目標設定してほしい。

### <今後に対する提言>

- 中間評価時であるのでやむを得ないが、最終的には日本のみならず新興国あるいは途上国で当該技術を普及していくことが目標になるはずである。その場合に、どうしても「安かろう・悪かろう」、「高かろう・よかろう」になる。「安かろう・よかろう」にするためにはどういう技術開発をすればよいかについても考えて頂きたい。
- 電力各社における USC プラントのほとんどの蒸気配管は、長手溶接継手配管から周継手溶接配管に交換が進められている。このような現状において、長手継手配管に比べ、周継手配管での TypeIV 損傷発生の可能性は低く、これまでのニーズが変化してくる可能性が大である。一方で、負荷変動の増大により、これまで問題とならなかった熱応力による疲労損傷やクリープ疲労損傷の新たな進行が懸念される。研究プロジェクト開始当初から電気事業のニーズが変化してきているところもあるので、再度電気事業におけるニーズを明確にし、研究成果の活用方策を見直す必要がある。
- 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」においては、伝熱管の寿命診断精度の改善だけでなく、ボイラ各部位、特に厚肉部における温度変動の推定に適用でき、さらには、熱応力の解析によるクリティカル部位の特定や同部位の損傷・寿命評価までが可能になれば、温度予測手法に対するニーズは広がるものと考えられる。
- 「クリープボイド初期検出システムの開発」においては、これまでに取得した検査データが廃却部材 1 体に限られているので、今後は、開先形状、損傷状態、肉厚等の異なる廃却部材に対するデータの収集による、ボイド検出精度の検証が必要である。そのためには、同様な研究を進めている学協会や電気事業の委員会等への参画による評価対象部材の取得や検査結果に対する専門家との議論が有用である。実機配管は、周継手配管に交換され、長手継手配管に比べ TypeIV 損傷が発生する可能性は低くなるが、管台、超音波検査用プラグ溶接部などには、厳しい応力が作用する部分も存在するので、これらの部位を検査する装置の開発も必要である。さらに、ボイド損傷検出精度の向上に加え、その後の運用によって、損傷がどのように進展して寿命に達するのか、所謂余寿命評価法の開発を合わせて実施することが望ましい。
- 研究成果の実用化に向けては、研究開発段階において外部発表を積極的に実施し、有識者と議論するとともに、電気事業のニーズを把握し、活用される研究成果の創出に努めていただきたい。
- この成果の実用化・事業化という観点では、当該開発システムを USC 石炭火力発電プラントに適用して、その検証を重ね、評価の定量性と信頼性を高めることが必須と思われる。今後は是非、その点に注力していただきたい。また、クリープボイド検出結果を如何にして当該プラントの余寿命評価に結びつけるか、すなわち、如何にして余寿命評価手法を具現化・実用化するのかについて、期間内に目標を達成するために、具体的な技術課題ロードマップを示していただき、研究を遂行して頂きたい。
- 今後の展開や成果に期待したい。
- 伝熱管の温度推定技術の向上については、実機実証試験による実機適用上の課題の解決に期待する。



- クリープボイド初期検出システムの開発については、最終目標達成に向けた課題を解決できるように、今後より一層の取り組みを期待したい。
- 両研究テーマともに、現場ニーズに即した重要な技術だと思うので、今後の取り組みに期待する。

## 2. 各論

### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

地球温暖化対策として CO<sub>2</sub> の総量規制がなされるなか、日本だけでなく発展途上国でも、石炭火力の必要性は高い。国内での電力供給の調整力として石炭火力発電のニーズは根強いものがあり、その設備の信頼性確保は重要課題である。当該事業の目的は、日本で培われた微粉炭ボイラ管理技術をさらにブラッシュアップし、国内外のボイラへの展開等に繋げる意味で極めて重要な事業である。また、個々の電力事業者のみの問題ではなく、全国の事業者に通じた問題であることから、NEDO 事業として実施する意義は大きい。近年、世界的な逆風の中で、民間企業における石炭火力の研究への投資が困難となる中で、NEDO のような公の事業者がこの研究を実施する価値は高い。

一方、成果については、事業化あるいは社会実装することによって、初めて NEDO 事業としての意義が達成されることから、地球規模の CO<sub>2</sub> の削減貢献のみならず、新設の場合には初期投資と維持管理、既設については維持管理の経済的なメリットをもう少し定量的に示すと共に、現在あるいは今後の火力発電所の運用保守形態を十分に調査し、これを踏まえた費用削減効果を算出してほしい。

#### <肯定的意見>

- ・ 石炭火力発電所の信頼性の高い運用とコスト低減に対しては、これまで同様、今後も国内外において強いニーズがあると考えられる。特に、主力機である超々臨界圧火力発電所では、高クロム鋼製配管溶接部において既にクリープ損傷が顕在化してきており、同損傷の非破壊的な検出手法の開発と余寿命評価法の確立が喫緊の課題とされている。本プロジェクトにおける研究開発の狙いは、このような背景と必要性に合致する、時宜を得たテーマであると言える。また、個々の電力事業者のみの問題ではなく、全国の事業者に通じた問題であることから、NEDO 事業として実施する意義は大きい。
- ・ 昨今の内外の不安定なエネルギー需給動向を踏まえると、国内での電力供給の調整力として火力発電のニーズは根強いものがあり、その設備の信頼性確保は重要課題であるため、当該事業の目的には妥当性が認められる。また、当該事業が公共性の高いものであることは明白であり、NEDO の事業としての妥当性も認められる。
- ・ 地球温暖化対策として炭酸ガスの総量規制がされるなか、わが国だけでなく発展途上国でも、石炭火力の必要性は高い。初期コストの削減だけでなく、保守面での高い技術力により国際競争力は増すと考える。よって今回の研究もその方向性に合っていると考えます。それに NEDO が研究資金を提供し、国際競争力を高めるのは当然であると考えます。
- ・ 国内でも発展途上国でも必要とされる石炭火力に資する技術である。近年、世界的な逆風の中で、民間企業における石炭火力の研究への投資が困難となる中で、NEDO のような公の事業者がこの研究を実施する価値は高い。

- ・ 当該事業の目的は、日本で培われた微粉炭ボイラ管理技術をさらにブラッシュアップして、国内外のボイラに展開、あるいは、新規受注に繋げる意味で極めて重要な事業であるものと認識する。ひいては、省資源・省エネ・相対的な CO<sub>2</sub> 削減に資するものと考えらる。

#### <改善すべき点>

- ・ 総論としての事業の位置づけや必要性については理解できるが、実施の費用対効果の定量性に関して疑問が残る。例えば、長手継手が周継手に交換された今後も、配管が約 15 年ごとに全交換されるのか、交換周期が 20 年に延長され 2,400 億円の削減効果が見込めるのか、などは単なる机上計算のように受け取れる。国のプロジェクトである以上、電力事業の現在あるいは今後の火力発電所の運用保守形態を十分に調査し、これを踏まえた現実味のある削減効果を算出いただきたい。
- ・ 特には見当たらないが、強いて挙げるなら、昨今の国際情勢を踏まえると、輸出効果（4,000 億円/年）、補修費削減効果（2,400 億円）という見積もりがやや楽観に過ぎるように見受けられる。特に、コロナ禍の今後の影響を踏まえると、石炭火力発電のインフラ輸出ならびに国内でのメンテナンス需要について現時点で改めて精査し、必要に応じて当該事業の実施効果額を新たに見積もることが望ましいように思われる。
- ・ ユーザーがどこまで、保守点検にコストをかけられるのか、定量的な検討が必要であると思われる。NEDO の開発費用に対する効果が低いように思われる。
- ・ 「運転時間を基に約 15 年で全交換されている」というのは、一部のプラントに聞き取り調査した際の実態とのことだが、これは 9%Cr 鋼の許容応力引下げに伴う処置であって、交換後には適用されないはずである。したがって、「実施の効果（費用対効果：補修費削減）」の試算は再検討されるとよいと思う。
- ・ NEDO 事業として支援して得られた成果については、事業化あるいは社会実装することによって、初めて NEDO 事業としての意義が達成される。地球規模の CO<sub>2</sub> の削減貢献のみならず、新設の場合には初期投資と維持管理、既設については維持管理の経済的なメリットをもう少し定量的に示すべきである。なお、具体的な経済的メリットを定量的に示そうとする場合、必ず基準（円・ドルレート、原油価格等）が必要であり、NEDO としてそのための基準を明確に指定すべきである。また、当該研究開発によって、kWh あたり 152 g の CO<sub>2</sub> が削減されるとあるが、152 g という CO<sub>2</sub> の削減効果を分かり易く説明されてはどうか。例えば、2000 cc の車が〇〇km 走る際に排出する CO<sub>2</sub> 量に相当等々。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

今回の開発目標は、故障予知・寿命予測等による保守技術や機器の信頼性の向上に繋がるものである。実施者の連携関係、指揮命令系統、責任体制は明確である。目標達成のためのスケジュールや、研究開発の進捗管理も妥当であると判断できる。

一方、「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」と「クリープボイド初期検出システムの開発」との連携が不足しているように思われるため、両者が融合することによる相乗効果を示したほうが良い。また、目標設定とそれによる成果の関係や費用対効果を明確にしてほしい。更に、本事業の知的財産戦略を改善してほしい。NEDO 事業がその成果の実用化・事業化を目指していることを踏まえると、もう少々積極的な戦略を取り入れることを期待する。

今後、既存2テーマの終了に伴い新規テーマが開始されるが、NEDO のマネジメントの工夫をはかり、過去の研究開発プロジェクトとは一線を画すような実用化・事業化に直結した成果を期待したい。

### <肯定的意見>

- これまでの石炭火力発電設備の使用状況ならびにその現状を踏まえると、発電設備の長期保守に寄与できる各種モニタリング・センシング・解析の要素技術の確立を中期目標として掲げていることは妥当であると思われる。ただし、コロナ禍の今後の情勢を考慮して、費用対効果に関わる目標設定の微修正は必要かもしれない。
- 計画には、目標達成に必要な要素技術の開発は概ね網羅されていると考えられる。
- 実施者の連携関係、指揮命令系統、責任体制も明確であり特段の問題は見受けられない。ただし、この中間資料の記載内容だけでは、それらが実際に適正に機能しているかどうかの確認・判断は難しい。
- PM、PL の役割は明記されており、研究開発の進捗管理も妥当であると思われる。
- 今回の開発目標は、故障予知・寿命予測等による保守技術や機器の信頼性の向上に繋がるものとする。中間目標として妥当だと思われるが、最終目標が、その時のニーズを満たしているかは不明である。むしろ再考する必要がある。
- 伝熱管の温度推定技術を担当する MHPS 社、クリープボイド検出システムを担当する東北大学・東北発電工業、いずれも本研究に必要な技術力を有した実施者であると思う。
- プロジェクト開始時から変化してきた石炭火力を取り巻く情勢を踏まえて、想定される課題に対して適切に最終開発目標が設定されている。
- 研究開発目標は妥当であり、少なくとも内外の技術動向は踏まえている。また、達成度を判定できる明確な目標も設定されている。目標達成のためのスケジュールや研究開発費も妥当である。その他、研究開発の実施体制や研究開発の進捗管理も妥当であると判断する。
- 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」は、プラントの設計や保守における温度管理の面では有益であると考えられる。また、今後の負荷変動の増加により熱疲労損傷の発生が懸念されることから、厚肉部等での温度変化を推定できることは意義がある。

- ・ 「クリープボイド初期検出システムの開発」において、従来の検出法では困難であった、ボイドの密集（TypeIV 損傷）を検出できるようになることは意義が大きく、挑戦的なテーマであると考ええる。

#### <改善すべき点>

- ・ 二つのテーマ（ボイラ伝熱管の温度推定技術の向上とクリープボイド初期検出システムの開発）に対して6億円もの費用が投じられているが、今回の中間審査資料を見る限りでは、目標達成のために具体的にどのように予算が執行されたのかが不透明である。適正な予算執行を確認するためにも、主な経費の使途を資料に列挙するなど、予算執行状況の透明化、情報開示が必要なように思われる。
- ・ 本事業の知的財産戦略は改善すべきと考える。特に、基本戦略として資料5に挙げている「ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない」と「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出願する」との記載は、一般的な方策にしか過ぎず、到底、戦略とは言えない。NEDO 事業がその成果の実用化・事業化を目指していることを踏まえると、もう少し積極的な戦略を取り入れるべきと考える。本事業の目標の一つが石炭火力発電のインフラ輸出であるならば、国内はもとより国際特許出願を視野に入れた「攻めの姿勢」の特許戦略を策定すべきではないかと思われる。
- ・ 研究開始時は、これらの目標が電力のニーズを満たしていたと思われるが、その後の電力での環境の変化が、今の最終目標とあっているか、再度調査をした方がいいように思われる。
- ・ 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の目標設定根拠のグラフから、650℃での材料の平均寿命は約 60 万時間と考えられる。従って、従来技術の推定誤差で評価した場合の寿命 10 万時間から、開発後に 20 万時間に延長したとしても、まだ、かなり安全側の評価となっていることに変わりはなく、ユーザーとしてメリットが得られにくい。伝熱管の温度推定技術の目標精度については、ユーザーのメリットを出すためには、どの程度とすべきかという観点で目標設定してほしい。
- ・ 前半の伝熱管の温度推定技術の向上と後半のクリープボイド初期検出システムの開発との連携が不足している感がある。両者が融合することによる相乗効果を示すべきと考える。
- ・ 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」において、目標設定を 0～20℃とした根拠とそれによる成果（寿命が+10 万時間延長可能）の関係や費用対効果が明確でない。また、目標を達成するためのアプローチや新たな技術開発の内容がわかりにくいので、明確に記載したほうがよい。
- ・ 「クリープボイド初期検出システムの開発」において、現状を考えた場合の目標設定は理解できるが、これまでの報告等では“900 個/mm<sup>2</sup>”は、クリープボイドあるいは損傷初期ではなく、中期から末期にかけての状態と考えた方がよい。本テーマに対しても研究成果の達成による費用対効果を明確にしたほうがよい。

### <今後に対する提言>

- 今後の研究開発スケジュールについては、現時点での進捗状況を踏まえて、慎重に見直すべきではないか。すなわち、中間目標では各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術の確立（実用として使えること）を掲げていたが、実用化（完成度）という観点では現時点では必ずしもその目標が達成されているとは言い難いと思われる。一方、今後の3年間で、これらの要素技術に基づいて、余寿命・故障予兆診断技術を開発することであるが、その実現への具体的道筋が明瞭ではなく、3年後の実用化・事業化にやや不安を感じる。本プロジェクトの最終目標として、「調整力確保と信頼性・運用性向上の技術見通し」を掲げているが、今後3年間で30億円もの巨費を投じた上での達成目標が「技術見通し」を立てることであるならば、費用対効果という点で物足りなさを感じざるを得ない。高温材料やプラントの余寿命・故障予兆診断に関しては科研費をはじめとして既に多くの基礎研究・応用研究が実施されてきたことを踏まえると、このNEDOプロジェクトでは過去の研究開発プロジェクトとは一線を画するような実用化・事業化に直結した成果が強く期待される。
- 知財の面で、海外と競争するのであれば、特許による技術の優位性を持たないと、国際社会で勝ち残っていけないと考えます。知財戦略を見直す必要があると思う。大学側では不得意な面だと思われるので、企業がリードして戦略を見直して欲しい。
- クリープボイド初期検出システムの開発について、最終目標の余寿命評価確立に向けては、センシング結果の定量化や定量化した後の寿命消費率のマスターカーブ作成など課題も多く、かなり多大な試験・労力が必要となることが想定されるため、協力事業者を増やすなどの体制強化も考慮された方が良いと思われる。
- 今回は中間評価にも関わらず、実質的にはプロジェクトは終了する。この点、NEDOのマネジメントを工夫して頂き明確にされたい。

## 2. 3 研究開発成果について

いずれの研究開発においても定量的な数値目標を掲げ、それを達成している点については高く評価できる。「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」では、大型燃焼試験設備で詳細データを取得することにより数値解析結果の検証を可能とし、一定の解析精度を達成したことは評価できる。「クリープボイド初期検出システムの開発」では、肉厚内部の $\mu\text{m}$ オーダーのボイドを検出可能とした点は大変有意な成果であり、世界でもトップクラスであると思われる。更に、論文等の対外的な発表も実施しており評価できる。

一方で、前者のテーマについては、実機適用上での課題があると思われることから、実機で生じるクリンカの付着・脱落、減肉による影響を考慮した温度解析手法の開発と、それをベースにした管の寿命予測法や管交換時期判定法の開発を目指してほしい。後者のテーマについては、ボイド検出の再現性や検出限界のため、複数の対象部材に対する計測やデータの定量化等が必要と思われる。

### <肯定的意見>

- ・ 研究当初に設定した中間目標は、達成されていると思われます。超音波の方は、計測システムとしてまとめられたことは素晴らしいと思います。
- ・ 大型燃焼試験設備で詳細データを取得することにより数値解析結果の検証を可能とし、一定の解析精度を達成したことは評価できる。
- ・ クリープボイド初期検出システムの開発は、肉厚内部の $\mu\text{m}$ オーダーのボイドを検出可能とした点は大変有意な成果である。
- ・ 研究開発目標は概ね達成しているものと判断できる。また、得られた成果は中間目標を達成している。論文等の対外的な発表もそれなりに実施しているものと評価する。
- ・ 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」では、5 時間程度の燃焼試験においては、解析精度が $+20^{\circ}\text{C}$ 以内という目標を達成している。
- ・ 「クリープボイド初期検出システムの開発」においても、目標は概ね達成されている。結果として記載されている  $592$  個/ $\text{mm}^2$ のボイド個数密度の検出は、世界でもトップクラスであると思われる。
- ・ いずれの研究開発（ボイラ伝熱管の温度推定技術の向上、クリープボイド初期検出システムの開発）においても定量的な数値目標を掲げ、それを達成している点については高く評価できる。

### <改善すべき点>

- ・ この中間目標が、妥当かどうかの議論は必要であると考えます。  
伝熱管の温度推定技術の向上において、誤差が $0 \sim +30^{\circ}\text{C}$ から $0 \sim +20^{\circ}\text{C}$ に寿命が2倍になるとは考えにくい。石炭火力の場合、ベースロード運転より負荷変動に対応した運転をすると考えられるので、単なるクリープよりクリープ疲労や熱疲労のような繰返し応力の変動が寿命を支配すると思われるので、そんなに重要は目標とは考えにくい。

- ・ 超音波によるクリープボイド検出ですが、世界初とはボイド分布を画像化し、その計測システム構築は初のように思われるが、検出は以前にも実施されている。また 900 個/mm<sup>2</sup> 程度の早期検出が目標となっているが、運転条件や溶接の開先形状により異なるので、初期とは言えないと思われる。この程度の個数密度は、寿命後期の場合もある。
- ・ 伝熱管の温度推定技術の向上は、実機環境での石炭灰付着の分布・程度とその影響を、数値解析でどのように考慮するか等、実機適用上での課題があると思われる。
- ・ クリープボイド初期検出システムの開発は、検出したクリープボイドの探傷音響像を、どう定量化して寿命消費率と結び付けるかが、大きな課題だと思われる。
- ・ 事業の位置づけ・必要性では、新興国・途上国への展開を謳っており、ついでには、亜瀝青炭や褐炭等低品位炭ボイラも意識している。しかし、研究内容・成果においては、低品位炭を想定した研究開発が行われていない。
- ・ 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」において、目標が達成できた技術的な理由を明確に示していただきたい（新たな技術として何が開発されたことにより目標が達成できたか）。
- ・ 「クリープボイド初期検出システムの開発」において、ボイド個数密度 592 個/mm<sup>2</sup> の観察図と精密探傷結果（探傷信号）との関係を示していただきたい。それによって、世界発の結果であることを証明することが重要である。チャンピオンデータであるともみなせるので、ボイド検出の再現性や検出限界のために複数の対象部材に対する計測、データの定量化等が必要不可欠である。
- ・ クリープボイド初期検出システムの開発に関しては、中間資料を拝見する限りでは、特定の試験体での結果のみが示されており、やや客観性に欠けるきらいがある。得られた結果の妥当性を裏づける信頼性の高い（統計学的に有意である）エビデンスが必ずしも明示されていないため、達成状況の説明が恣意的となっている感が拭えない。誤解を恐れずに言えば、今回の結果は基礎研究の粋を出ておらず、実用レベルでの検証には至っていないため、最終目標（実用化・事業化）を達成できるかどうかやや不安である。成果の信頼性を裏づけるエビデンスベースのシステム開発が望まれる。

#### <今後に対する提言>

- ・ 成果の活用・実用化に向けては、高温強度関係の専門家の意見を聞かれて、最終目標を見直された方が良いと思える。
- ・ 伝熱管の温度推定技術の向上の実機適用上の課題については、実機実証試験を行う中で、その課題解決に向けて検討されることを期待する。
- ・ クリープボイド初期検出システムの開発の最終目標である余寿命評価の確立は、探傷画像の定量化や寿命消費率のマスターカーブの作成等、今後実施すべき事項は、かなりの労力が必要だと想定されるので、その達成のため、より一層の取り組みを期待したい。



- 伝熱管表面の温度推定に関しては、ある意味、非定常性が強い、すなわち、伝熱管の表面温度は時々刻々と変化するはずである。とりわけ低品位炭を燃料とした場合、灰の付着、脱落等を繰り返し灰付着層が成長するので温度の経時変化は激しい。この非定常性を意識した開発も進めてほしい。
- 温度推定に関する今後の展開として、炉壁温度の推定も目標とされている。そのためには、別な方法で炉壁表面の温度を測定する必要があるものと考ええる。
- なお、NEDO へのコメントとして、「成果の普及（一般に向けて、情報を発信しているか）」や「知的財産権等の確保に向けた取組」という項目を評価軸に入れているならば、「ノウハウとして秘匿」を認めてよいのか？
- 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」では、実機伝熱管、火炉壁管に対する温度解析精度の向上に向け、実機で生じるクリンカの付着・脱落、減肉による影響を考慮した温度解析手法の開発とそれをベースにした管の寿命予測法や管交換時期判定法の開発を目指していただきたい。また、負荷変動に伴う温度変動による熱応力の評価やこれに伴う損傷評価法の開発も期待したい。
- 「クリープボイド初期検出システムの開発」においては、種々の配管溶接部に対する **TypeIV** 損傷（例えば、損傷の程度（ボイド個数密度）が異なる、肉厚における位置が異なる、開先形状が異なる場合など）に対する検出性能を明らかにしていただきたい。
- 経年損傷初期のクリープボイド密集の検出に関しては、まずは精密探傷音響像の画像が具体的に何を指すのか、すなわち、その画像の基となっている後方散乱波の発生源の正体（粒界、微小亀裂、ボイド、ボイド密集、異物）を具体的に解明することが先決であると考ええる。そのためには試験体の精密切断とその高精度内部観察や他のセンシング手法とのダブルチェックが不可欠であり、それらを通じて本研究成果の有用性を客観的に実証することが必須であろうと考える。

## 2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

「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」及び「クリープボイド初期検出システムの開発」に関するそれぞれの要素技術の確立に向けて具体的な数値目標を掲げて、それを達成すべく取り組み、一定の成果を挙げている点は評価できる。いずれのテーマも、その最終目標が実現されれば、現場ニーズに合致するすばらしい技術であり、実用化を期待したい。想定する市場の規模・成長性等から、多少の経済効果も期待できると思われる。

しかしながら、成果の実用化・事業化の戦略は、現状のままでは不明確と思われる。前者のテーマにおいては、温度解析誤差を縮めたことによって、伝熱管の寿命予測や交換管理に本ソフトが使用されるニーズが増す、とする理由を更に掘り下げてほしい。本ソフトを使用した伝熱管の寿命管理手順や保守コストの低減効果を明確に示し、それに対するユーザーの意見等を調査しておくことが必要である。また、後者のテーマにおいては、高精度な要素技術を開発することで経年損傷初期のクリープボイド密集の検出が可能になったとしても、その損傷部材の余寿命を定量的に評価することは必ずしも容易ではないことから、高精度・高信頼性のクリープ損傷計測システムの完成とそれに基づく高精度な定量的余寿命評価手法の構築を早期に実現し、その実機への適用と検証を実施してほしい。

今後の展開として、自社ボイラのみならず、他社ボイラ、さらには、性能が低いボイラへも適用できると思われることから、事業化においては、ユーザーの利便性向上のため、特定メーカーの製品に限らず汎用的に利用できる実施形態への検討を期待したい。

### <肯定的意見>

- ・ いずれのテーマも、その最終目標が実現されれば、現場ニーズに合致するすばらしい技術であり、実用化を期待したい。
- ・ 中間評価時点であることを勘案すれば、成果の実用化・事業化に向けた戦略は妥当であろう。
- ・ 「伝熱管メタル温度予測技術」ならびに「主要配管初期クリープ損傷検出用精密計測システム」に関するそれぞれの要素技術の確立に向けて具体的な数値目標を掲げて、それを達成すべく取り組み、一定の成果を挙げている点は評価できる。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、多少の経済効果は期待できると思われる。

### <改善すべき点>

- ・ 中間評価時点であるので困難であるとは思いますが、きっちりした仮定あるいは境界条件(円ドルレート、原油価格等)を設定した上で、新設炉および既設炉と、それぞれにわけて、想定する市場の規模や経済効果等を検討頂きたい。技術的波及効果も期待できるので、その点についても検討・記述頂きたい。
- ・ 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」においては、温度解析誤差を現状の+30℃から+20℃としたことによって、ユーザーの実機活用ニーズ(伝熱管の寿命予測や交換管理に本ソフトが使用される)が増大する、とする理由を明確にすべきである。

そのためには、本ソフトを使用した伝熱管の寿命管理手順や保守コストの低減効果を明確に示し、それに対するユーザーの意見等を調査しておくことが必要である。

- ・ 「クリープボイド初期検出システムの開発」においては、USCプラントの蒸気配管が長手継手から周継手に交換された現状において、これまでのように TypeIV 損傷発生が問題となるのか、その検出の必要性、即ち本システム活用に関するニーズがどの程度あるのかを明確にする必要がある。周継手では、システム応力による曲げ応力が重畳する場合には、TypeIV 損傷の進行は外表面近傍に集中する可能性が高いが、本システムにより外表面近傍の損傷の検出が、開発目標と同程度の精度で可能かどうかを明確にする必要がある。
- ・ 高精度な要素技術を開発することで経年損傷初期のクリープボイド密集の検出が可能になったとしても、その損傷部材の余寿命を定量的に評価することとは必ずしも容易ではない（一般には極めて難しい課題である）。通常の非破壊検査によれば、より安全側を考慮して、部材の損傷度合いを過大評価することで早めの部材交換を促す方策が取られることもある。しかし、本事業では、補修費削減による経済効果を目指していることから、従来技術で採られたような損傷の過大評価によって安全を担保するのではなく（この場合、まだ使える部材を補修・交換することになり、経済性は損なわれる）、真の余寿命を正確に評価することが求められている。そのような定量的余寿命評価の実現なくして本成果の実用化・事業化は成し得ないことを念頭において研究開発を進めて頂きたい。具体的には、高精度・高信頼性のクリープ損傷計測システムの完成とそれに基づく高精度な定量的余寿命評価手法の構築を早期に実現していただき、その実機への適用と検証を実施して頂きたい。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、現状のままでは不明確だと思われる。
- ・ 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組は、もう一段の小型が必要だと思う。
- ・ この超音波計測システムだけでは、寿命評価まで行くのは、難しい。他社や学協会を利用した検証が必要である。1社でやるには限界がある。

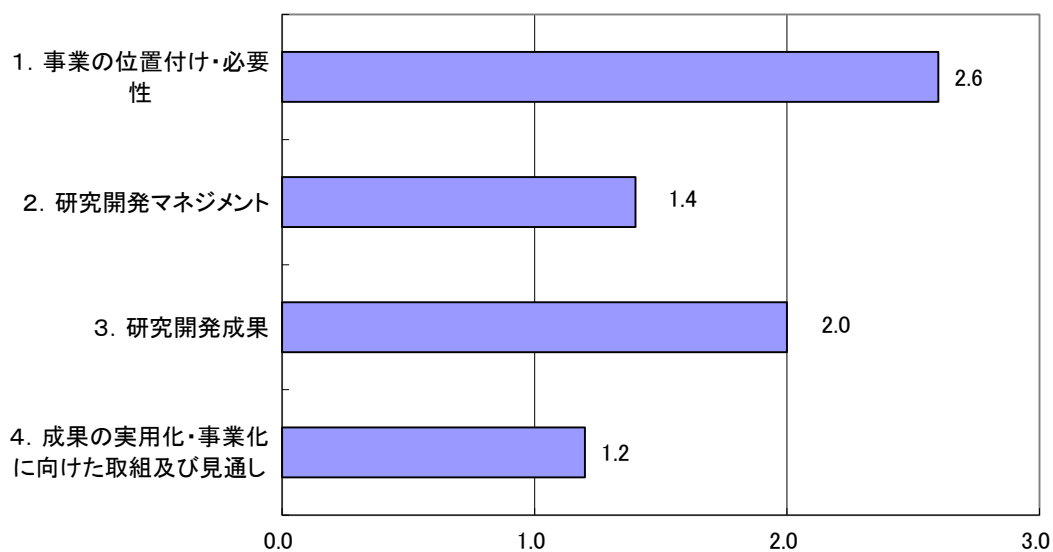
#### <今後に対する提言>

- ・ 事業化においては、ユーザーの利便性向上のため、特定メーカーの製品に限らず汎用的に利用できる実施形態についても検討いただきたい。
- ・ 当該研究にて開発する技術は、ある意味、メンテナンスのための計測技術に該当する。伝熱管表面温度を推定する解析技術、ならびに、クリープボイドを *in situ* で精密に計測する技術である。そうすると、今後の展開としては、自社ボイラのみならず、他社ボイラ、さらには、性能が低いボイラへも適用できるはずであり、このような観点から鑑みると、いわゆる海外製の性能が低い安価なボイラに本当に適用できるかが鍵になる。
- ・ 「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」においては、温度の真値に対する誤差を示したほうが理解しやすい。その上で、どのような場合に誤差を生じるのか、実機適用にあたって解析誤差をどのように取り扱うのかを明確にしてはどうか。実用化に向けては、本解析システムを用いた伝熱管の寿命管理への適用に対するニーズをさらに

掘り下げていただきたい。一方、今後の負荷変動運転において温度変動とそれに伴う熱応力を明確にすることは重要であり、本システムの活用が期待できる。伝熱管の寿命管理だけでなく、ボイラ全体の機器に対して、熱応力による損傷や寿命評価が可能になることにより、活用のニーズが広がると考えられる。

- 「クリープボイド初期検出システムの開発」においては、実用化に向けて、配管径、開先形状、損傷部位等の異なる複数の溶接配管に対するデータの取得と精度の検証が必要不可欠である。そのために、学協会や電気事業の委員会等に参画し、多数の廃却配管溶接の計測と検出性能の評価、実機適用のニーズの把握を行うことを推奨したい。ボイド個数密度が、500～600（個/mm<sup>2</sup>）程度で検出できるのであれば、寿命中期での検出が可能であり、その後の進行を予測することが重要になる。しかしながら、本検出システムでボイド密集を検出するだけでは、現状の損傷状態の判定はできても、その後ボイド損傷がどのように進行し、どのくらいの時間で交換時期に達するのかが予測できない。ボイドの発生・成長を温度・応力解析結果から解析的に予測する手法が提案されており、余寿命評価法開発へのアプローチとして、同手法と組み合わせた評価法などは検討に値すると思う。
- 本事業における実用化の定義は、「主要配管初期クリープ損傷検出用精密計測システム」を余寿命評価手法として確立することとなっている。したがって、本事業のキーポイントは検出したクリープ損傷から当該部材の余寿命を如何にして精度よく評価できるかということであり、クリープボイドの過大評価（安全側）ではなく、過小評価（危険側）でもない、高精度な検出が要求される。是非ともその実現に注力して頂きたい。
- 成果の実用化・事業化の戦略の再検討が必要だと思う。

### 3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)				
		A	A	A	B	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.6	A	A	A	B	B
2. 研究開発マネジメントについて	1.4	C	C	B	C	B
3. 研究開発成果について	2.0	A	B	B	C	B
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	1.2	B	B	C	D	C

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 とし事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について                |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                    |
| ・重要 →B             | ・よい →B                       |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                     |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D                 |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                       |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                       |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                     |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D                   |

## 第2章 評価対象事業に係る資料

## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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」

事業原簿

公開版

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------



## —目次—

概 要	3
プロジェクト用語集	6
<b>1. 事業の位置付け・必要性について</b>	<b>8</b>
1. 事業の背景・目的・位置づけ	
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	
2.1 NEDO が関与することの意義	
2.2 実施の効果（費用対効果）	
<b>2. 研究開発マネジメントについて</b>	<b>12</b>
1. 事業の目標	
2. 事業の計画内容	
2.1 研究開発の内容	
2.2 研究開発の実施体制	
2.3 研究開発の運営管理	
2.4 研究開発成果の実用化・事業化 <sup>※</sup> に向けた マネジメントの妥当性	
3. 情勢変化への対応	
4. 中間評価結果への対応	
5. 評価に関する事項	
<b>3. 研究開発成果について</b>	<b>18</b>
1. 事業全体の成果	
2. 研究開発項目毎の成果	
<b>4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて</b>	<b>23</b>
1. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	

（添付資料）

- ・プロジェクト基本計画
- ・特許論文等リスト

「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（抜粋）

◇中間評価、◆事後評価

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 <sub>2</sub> 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO <sub>2</sub> 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) 高温空気を利用したガスタービン(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	A-USC実証												
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ン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 <sub>2</sub> 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)													◇			◆		

## 概要

		最終更新日	2020年6月22日					
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P16002					
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM 名久井 博之 (2020年6月現在) " " 中元 崇 (2017年4月～2019年3月)							
0. 事業の概要	<p>長期保守契約(LTSA)を実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を特定し、試験装置の整備、計測を行う。また、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。具体的案件は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 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：伝熱管加熱部の温度計測技術の適用燃料種拡大および数値解析を用いた伝熱管加熱部の温度推定技術の適用範囲拡大</li> <li>➤ TypeIVクリープボイド初期検出システムの開発：超精密音響 TypeIVクリープボイド評価装置を用いた定量評価計測システムの確立</li> <li>➤ 高分解能フェーズドアレイの開発：フェーズドアレイ高分解能化の課題抽出と対策検討および実機適用基盤技術の開発</li> <li>➤ 火力発電設備の余寿命・故障予兆診断技術開発：故障の予兆と原因特定および対応策の検討および設備検査と運転データ分析に基づいた余寿命診断</li> </ul>							
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>2019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。</p>							
2. 研究開発マネジメントについて								
事業の目標	<p><u>中間目標</u>（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。</p> <p><u>最終目標</u>（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。</p>							
事業の計画内容	主な実施事項	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	
	伝熱管の温度推定技術の向上							
	クリープボイド初期検出システムの開発							

	余寿命・故障予兆診断技術開発							
事業費推移	特別会計（需給）	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額
	総 NEDO 負担額（委託費）	156	291	171	3,000			3,618
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課						
	プロジェクトリーダー	三菱日立パワーシステムズ(株) 山内 康弘 東北大学 三原 毅						
	プロジェクトマネージャー	環境部 名久井 博之						
	委託先	三菱日立パワーシステムズ(株)（再委託先：三菱重工業(株)） 東北大学、東北発電工業(株)						
情勢変化への対応	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。							
評価に関する事項	中間評価	2020年度 中間評価						
	事後評価	2023年度 事後評価						
3. 研究開発成果について	【全体中間目標】 長期保守契約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した。							
	【個別中間目標】							
	・ 伝熱管の温度推定技術の向上：伝熱管加熱部の温度計測技術の適用燃料種と数値解析を用いた伝熱管加熱部の温度推定技術の適用範囲を拡大した。							
	・ クリープボイド初期検出システムの開発：超精密音響 TypeIVクリープボイド評価装置を用いた定量評価計測システムを確立した。							
	投稿論文	0件						
特許	0件							
その他の外部発表（プレス発表等）	学会発表 3件							
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術については、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（ボナ本数、伝熱パネル枚数、火炉サイズなど）を行い、2022年度以降の実用化・事業化を目指す。 クリープボイド初期検出システムについては、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。	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2016年1月 制定
	変更履歴	2016年4月、9月、2017年2月、5月、6月、2018年2月、7月、9月、2019年1月、7月、2020年2月 改訂（目的、目標、内容、スケジュール等の追加、修正）

## プロジェクト用語集

名称	略号	意味
エロージョン		固体、液体および気体が材料との相対的動きや衝撃的な繰り返し作用によって生ずる機械的力によって材料表面を変形・劣化させ、少しずつ材料を脱離させその場所に減肉を生じさせる現象。
クリープ		物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象。
高位発熱量		高位発熱量もしくは総発熱量は、燃焼後の生成物を燃焼前の温度に戻し、生成した水蒸気がすべて凝縮した場合の発熱量である。燃焼で生成された水が液体で存在するような一般的な温度で燃焼反応のエンタルピー変化を想定しているため、総発熱量は燃焼熱に等しい値となる。熱量計で測定される熱量は高位発熱量である。
再熱蒸気		超高圧または高圧タービンで仕事をした後、再度ボイラで過熱された蒸気であり、再度タービンで仕事をする。
酸化スケール		金属を空気中または他の酸化雰囲気中で加熱したとき表面に生じる酸化物の被膜
主蒸気		ボイラで発生する最高圧力、最高温度の蒸気
石炭		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。一般に、発熱量 4,000kcal/kg 以下、湿分と水分の合計が 30%以上、灰分 40%以上の、揮発分 10%以下のものは低品位炭と呼ばれる（火力原子力発電技術協会 纂：火力発電用語辞典より）。
送電端出力		発電機出力—所内動力
超音波探傷試験 Ultrasonic Testing	UT	超音波のパルス信号として機械的な振動を金属材料等の表面や内部に伝播させることにより、音響的に不連続な部分からの反射信号や反射強度、伝播時間などにより、材料内部のきずや長さ、形状などを非破壊で評価し、その良否判定を検査規格などにより良否判定する技術。
超々臨界圧汽力発電 Ultra Super Critical pressure	USC	蒸気温度 593℃以上の超臨界圧汽力発電
熱効率		電気出力／投入熱量
ボイラ		ボイラは、燃料を燃焼させて得た熱を水に伝え、水蒸気や温水

		(=湯)に換える熱交換装置を持った熱源機器。
--	--	------------------------

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1. 事業の背景・目的・位置づけ

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

(図 1-1)。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、他国籍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(図 1-2)。

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(図 1-3)。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。

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整合的な形で、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」としている(図 1-4)。

また、同基本計画において、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(図 1-5)。

そこで本事業では、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。そのことにより、日本の石炭火力発電プラントの競争力向上にも寄与する。

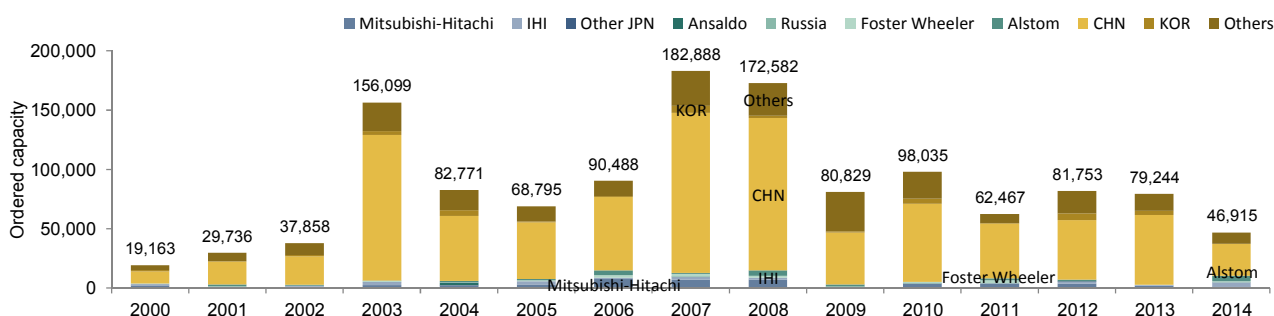


図 1-1 全世界の各社シェアの推移(ボイラ)

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



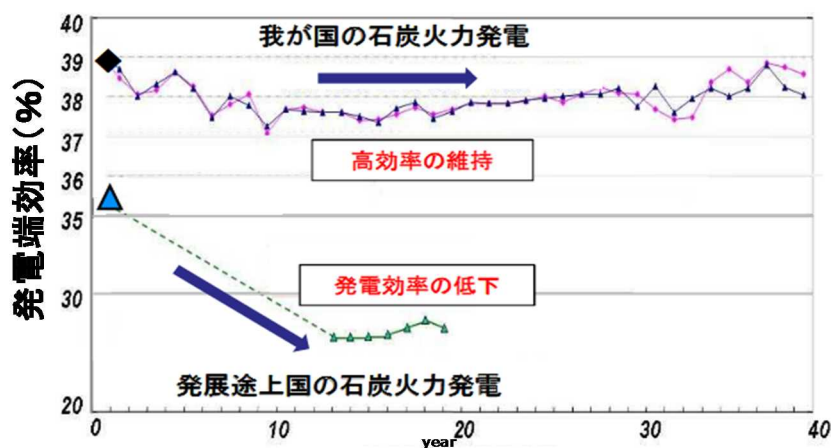


図 1-2 設備設置後の発電効率

出典：電気事業連合会

	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"> <li>✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト）</li> <li>✓ チューブリークによる計画外停止</li> <li>✓ ボイラー出口温度上昇による効率低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理</li> <li>✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断</li> </ul>	6.2 △	39 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ◎
インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト）</li> <li>✓ ボイラートラブルに起因する計画外停止</li> <li>✓ パーツストック合理化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理</li> <li>✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断</li> </ul>	- =	16 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ○
ポーランド	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 再エネ対応</li> <li>✓ 環境負荷の低減</li> <li>✓ 計画外停止の根絶</li> <li>✓ 石炭品質管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 部分負荷効率向上サービス</li> <li>✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断</li> </ul>	1.1 △	17.6 ○	3.5 △	0.3 △	- ◎	- ○

図 1-3 石炭火力導入各国のニーズ

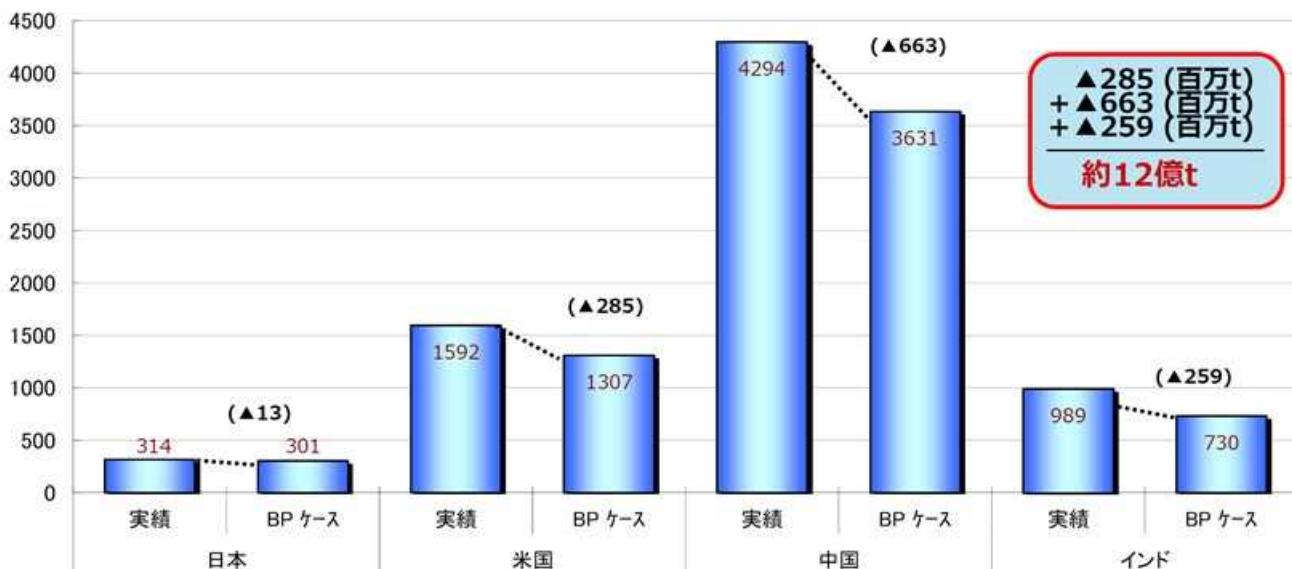


図 1-4 石炭火力発電からの CO2 排出量実績(2014 年)と日本の最高効率適用ケース

(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

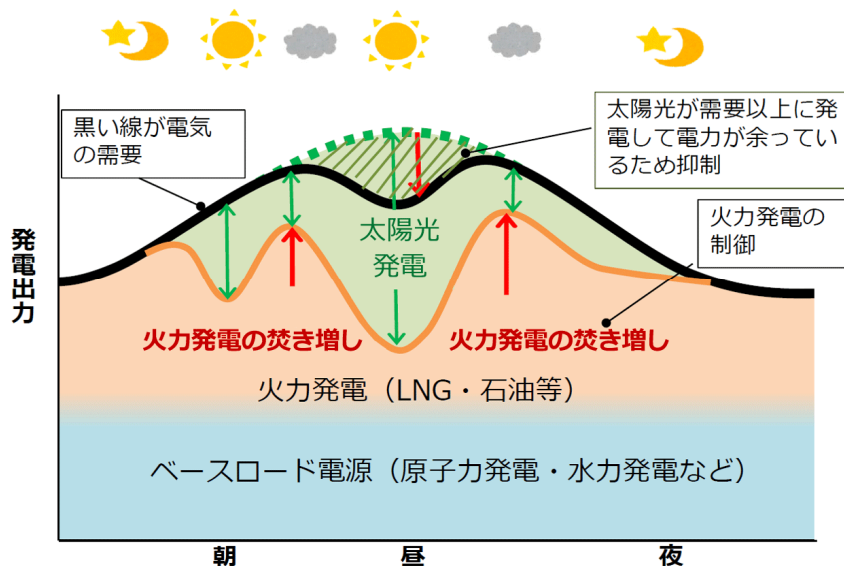


図 1-5 電力需給のイメージ

出典：資源エネルギー庁ホームページ

## 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

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。

### 2.2 実施の効果 (費用対効果)

① プロジェクト NEDO 負担額の総額：36.2 億円

② マーケットの現状及び将来の規模

### (1) 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\*<sup>1</sup> される見込み (図 2-1) ⇒ 24GW/年⇒ 想定される市場規模は約 6 兆円/年\*<sup>2</sup>。世界のボイラ市場に占める日本企業のシェアは 7.5%\*<sup>3</sup> 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

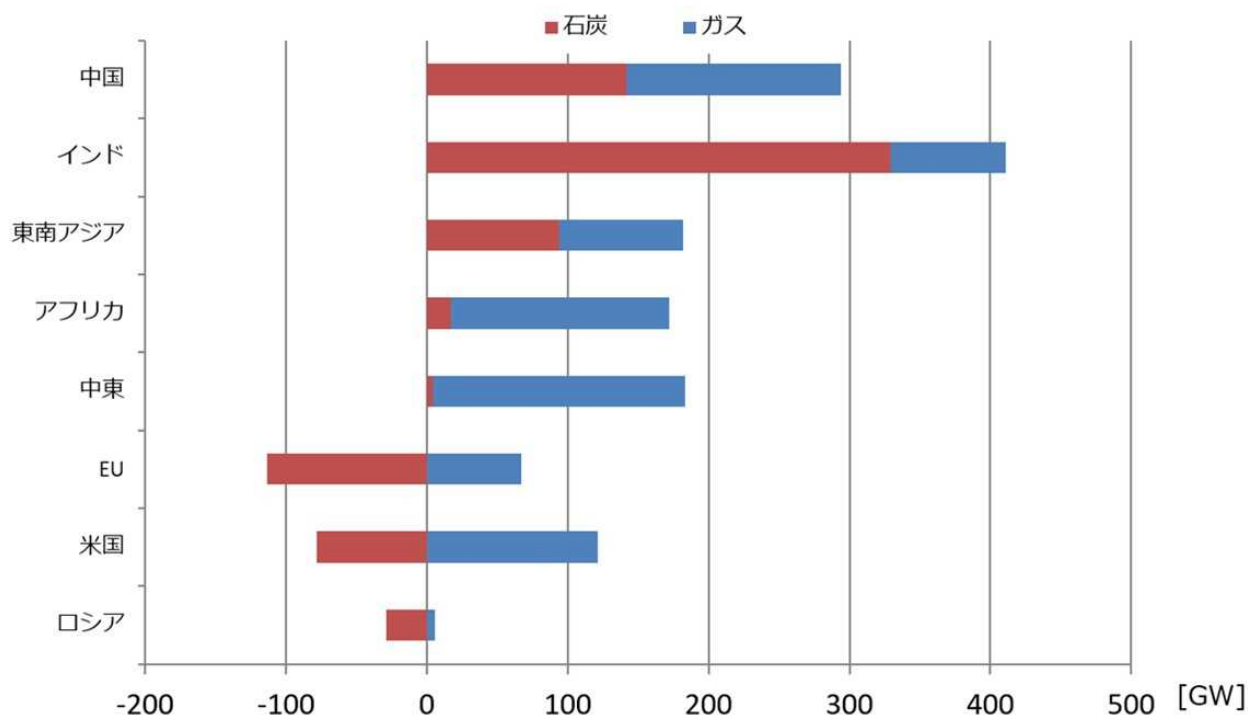


図 2-1 主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増加見通し(2015-2040)

(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

### (2) 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での交換、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。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

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。



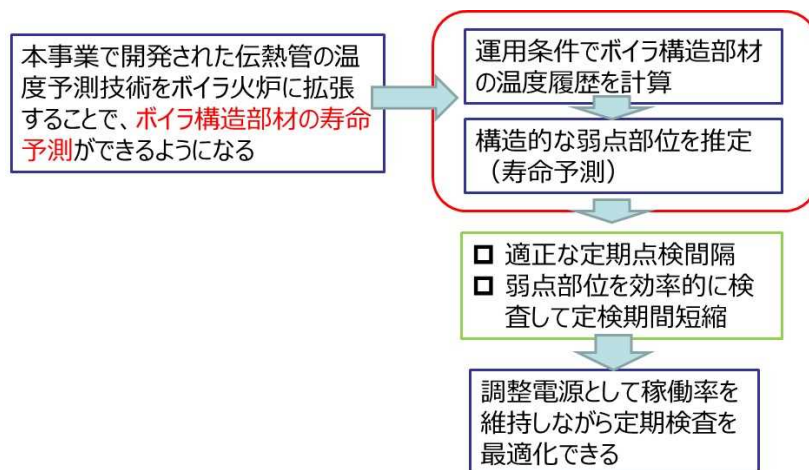
### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

石炭火力発電分野において LTSA を提供するために必要な技術開発要素（各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術）を特定し、開発する。また、発電所における技術実証に活用するスキームを検討する。具体的案件は以下の通り。

##### （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

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り、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。



そのため、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すると共に、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。

高温材料を 650℃で使用する場合、従来の推定誤差は+30℃のため、680℃の寿命カーブを採用している。開発後の推定誤差は+20℃のため、670℃の寿命カーブを採用可能となる。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(図 2-1)。

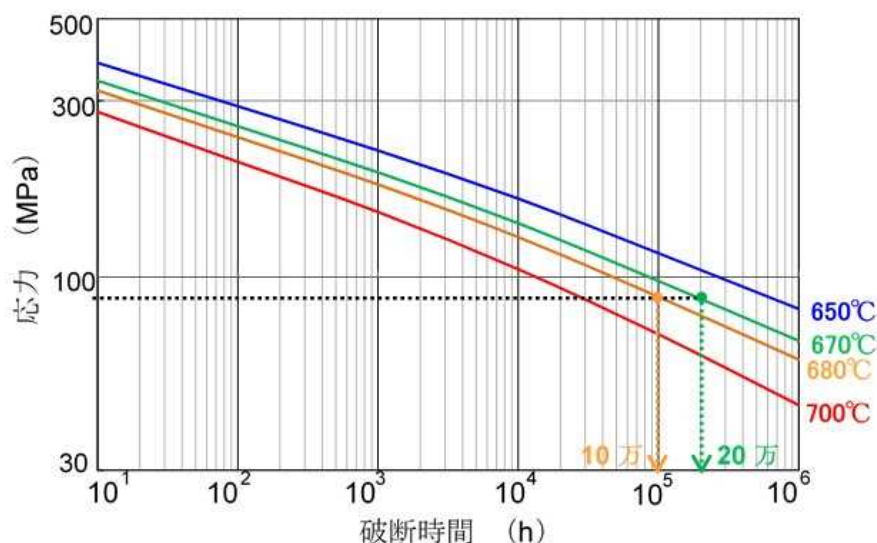


図 2-1 SUPER304H のクリープ破断特性

「あたりあ 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) Type IV クリープポイド初期検出システムの開発

石炭火力発電所の主要配管溶接継手では、局所的にクリープポイドが発生することが明らかとなっている(図 2-2)。しかし、クリープポイドの計測法は確立されていないため、現状は、非破壊検査は保全計画には活かされず供用時間に応じて部材の交換が行なわれている(図 2-3)。石炭火力発電所の高クロム鋼配管溶接部で Type IV クリープポイドがき裂になる前の初期段階で計測できれば、非破壊計測に基づいて保全計画を立てることができる(図 2-4)。

本研究では、予備研究により取得した特許技術を基に、世界に先駆け石炭火力の保全手法の確立に向け以下の 3 項目を実施した。

- 1) 火力発電サイトの定期検査に使える精密音響 Type IV クリープポイド評価装置を開発
- 2) 受信波形の SN 比改善に向けたシステム改良の検討
- 3) 微小クリープポイドの音響検出メカニズムの基礎検討

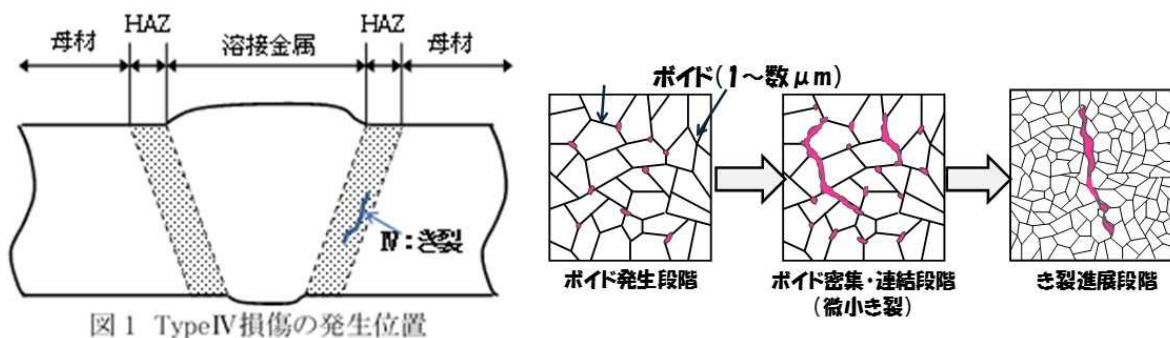


図 2-2 クリープ損傷メカニズム



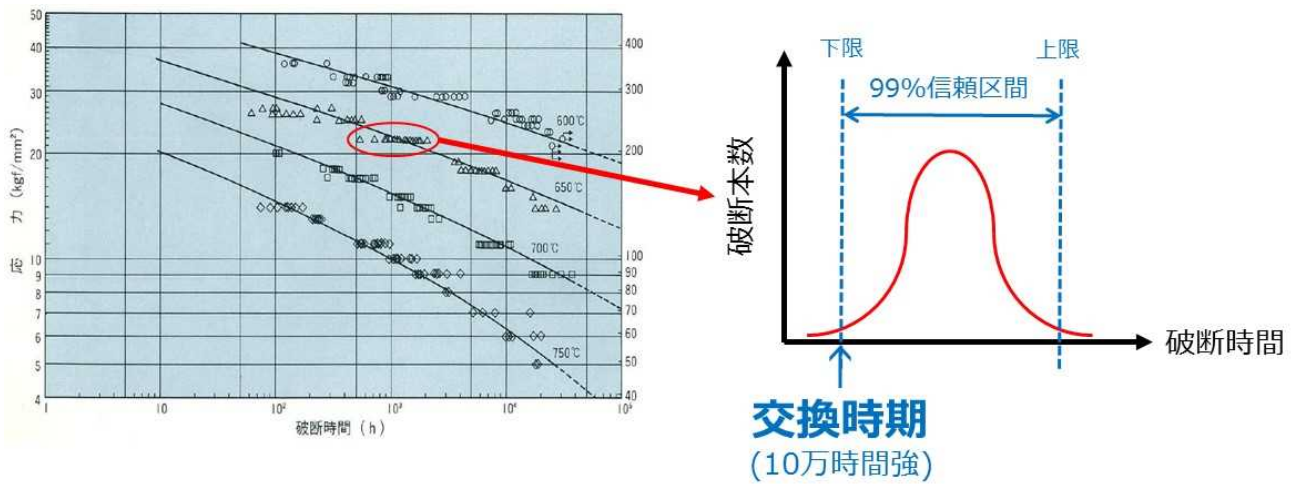


図 2-3 配管の交換時期の設定イメージ

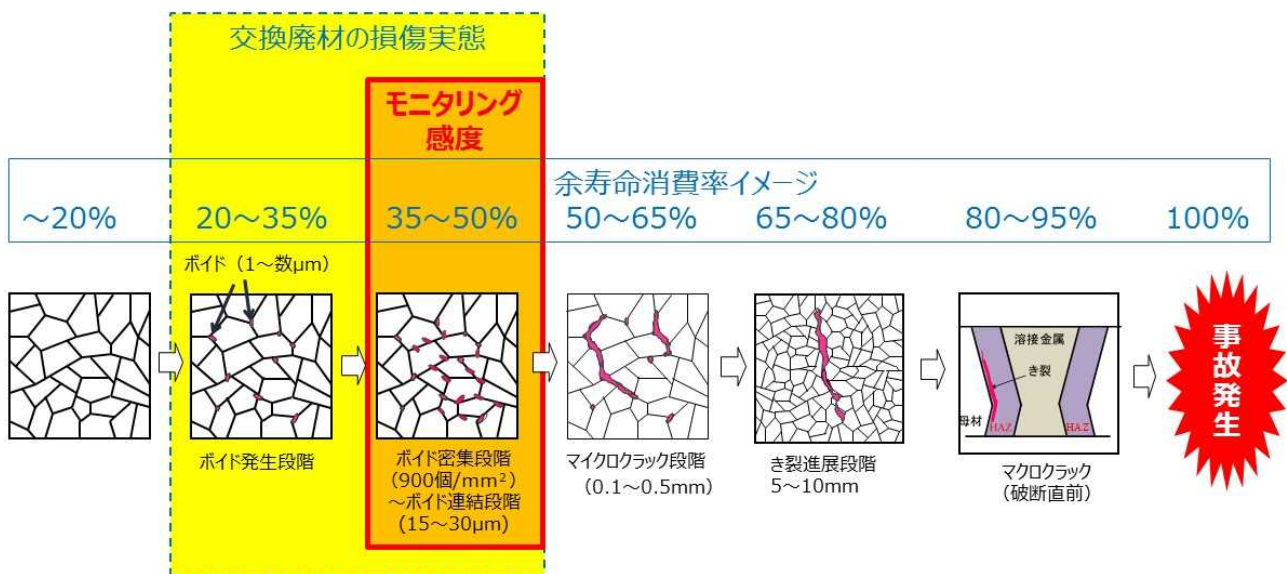


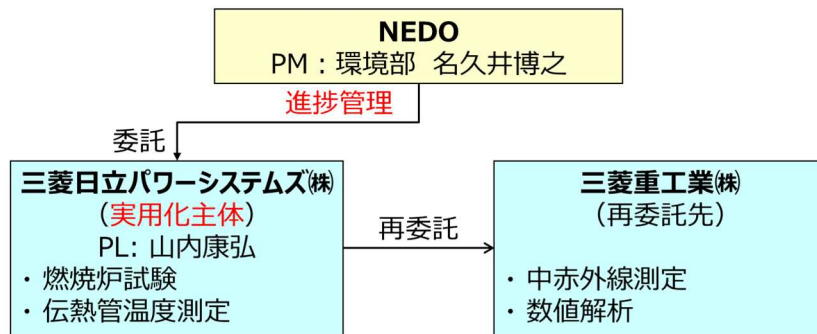
図 2-4 クリープボイド初期検出システム開発のモニタリング感度

表 2-1 各事業の研究開発予算

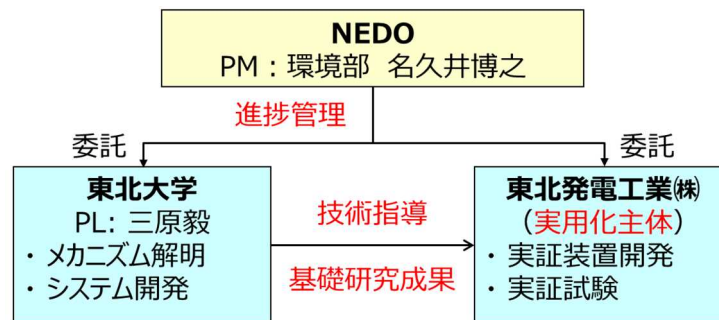
	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	事業 合計
微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の 温度推定技術の向上	146	198	137	-	-	-	481
TypeIV クリープボイド初期検出シス テムの開発	10	93	34	-	-	-	137
余寿命・故障予兆診断技術開発	-	-	-	3,000			3,000
年度合計	156	291	171	3,000			3,618

## 2.2 研究開発の実施体制

(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



(2) TypeIV クリープボイド初期検出システムの開発



2.3 研究開発の運営管理

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(図 2-5)。また、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、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よい。

## 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

### ① 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。

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。



環境技術分野事業報告会

NEDO は2019年11月15日、NEDO 本部において、ユーザ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。9電力、電事連、電中研から51名が参加し、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。



電力会社向け技術成果発表会

### ② 知的財産権の帰属

「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。



### ③ 知財マネジメントに係る運用

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」を適用する。

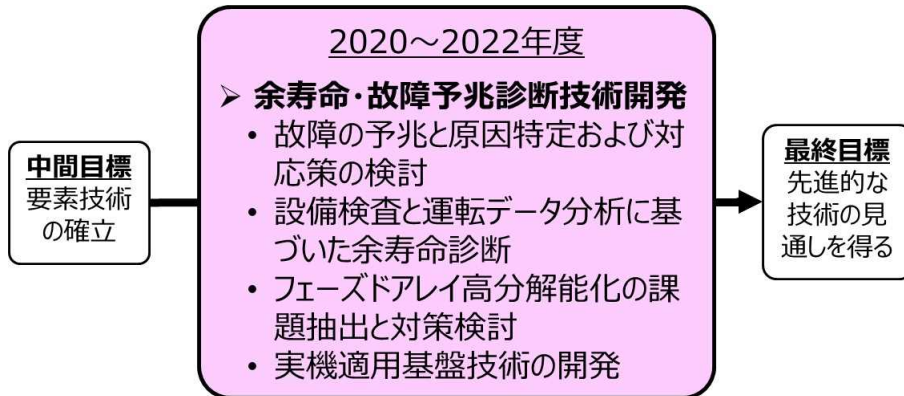
## 3. 情勢変化への対応

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。

### 3. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

モニタリング等の要素技術が確立したことから、今後、余寿命・故障予兆診断技術開発を行うことにより最終目標は達成できる見込みである。



#### 2. 研究開発項目毎の成果

##### (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

微粉炭焚きボイラの信頼性向上のためには、運転中の伝熱管温度を予測することが重要である。本研究では石炭燃焼環境下における伝熱管のメタル温度予測技術の検証のために、水冷および空冷の模擬伝熱管、バーナごとの微粉炭流量を計測する微粉炭流量計、伝熱管近傍のガス温度を計測する高度トラバース装置等を大型燃焼試験設備に設置し、石炭種や燃焼空気比の変化などの種々の条件下で燃焼試験を実施した(図 3-1)。また、燃焼試験を再現した数値解析を行い、試験結果との比較を行った(図 3-2)。その結果、数値解析により予測した最高メタル温度および温度分布傾向は実測値を良く捉えており、実機ボイラのメタル温度予測に有効であることを確認した(図 3-3)。また、中赤外線カメラを用いることでメタル温度傾向や伝熱管への灰付着等が把握できることを確認した。

表 3-1 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。	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。	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。

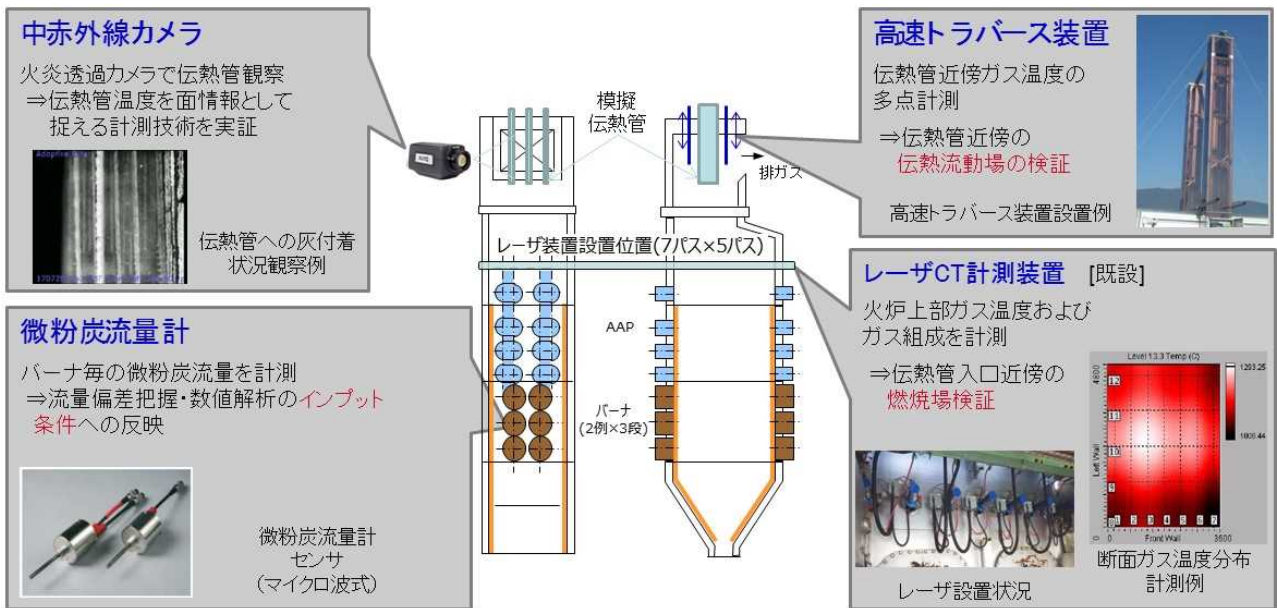


図 3-1 大型燃焼試験設備における伝熱管温度・ガス温度測定

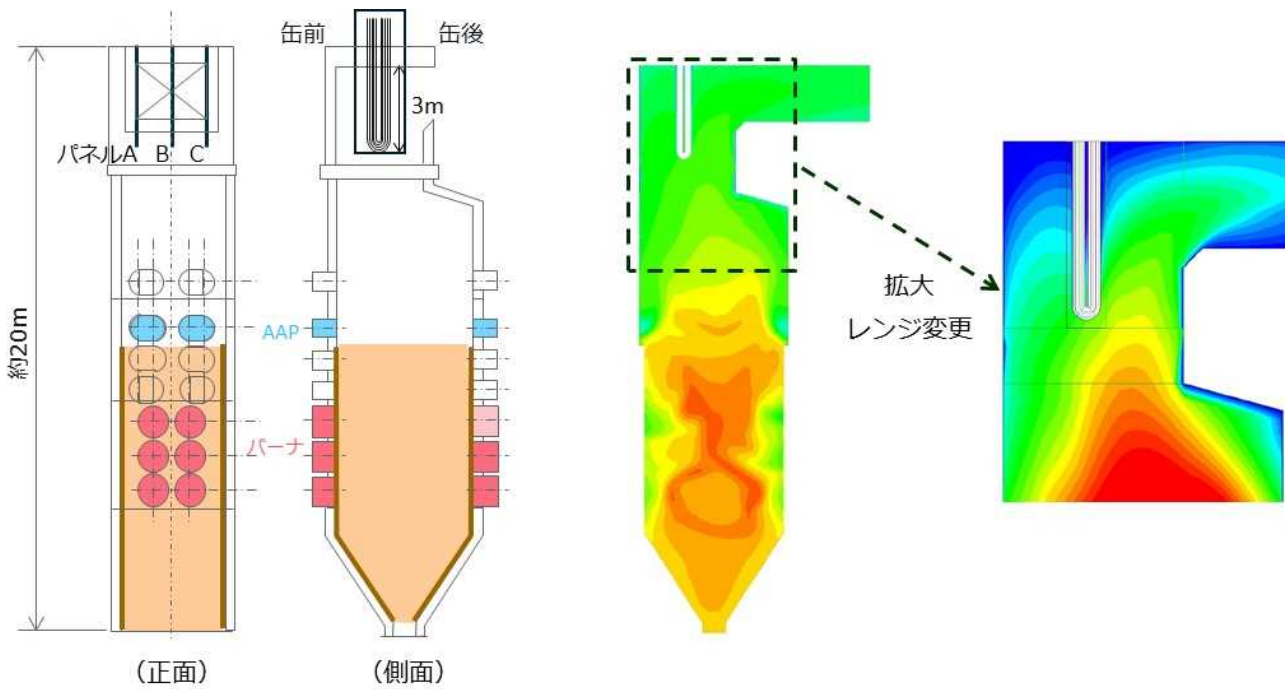


図 3-2 炉内燃焼・伝熱流動解析結果 (ガス温度)

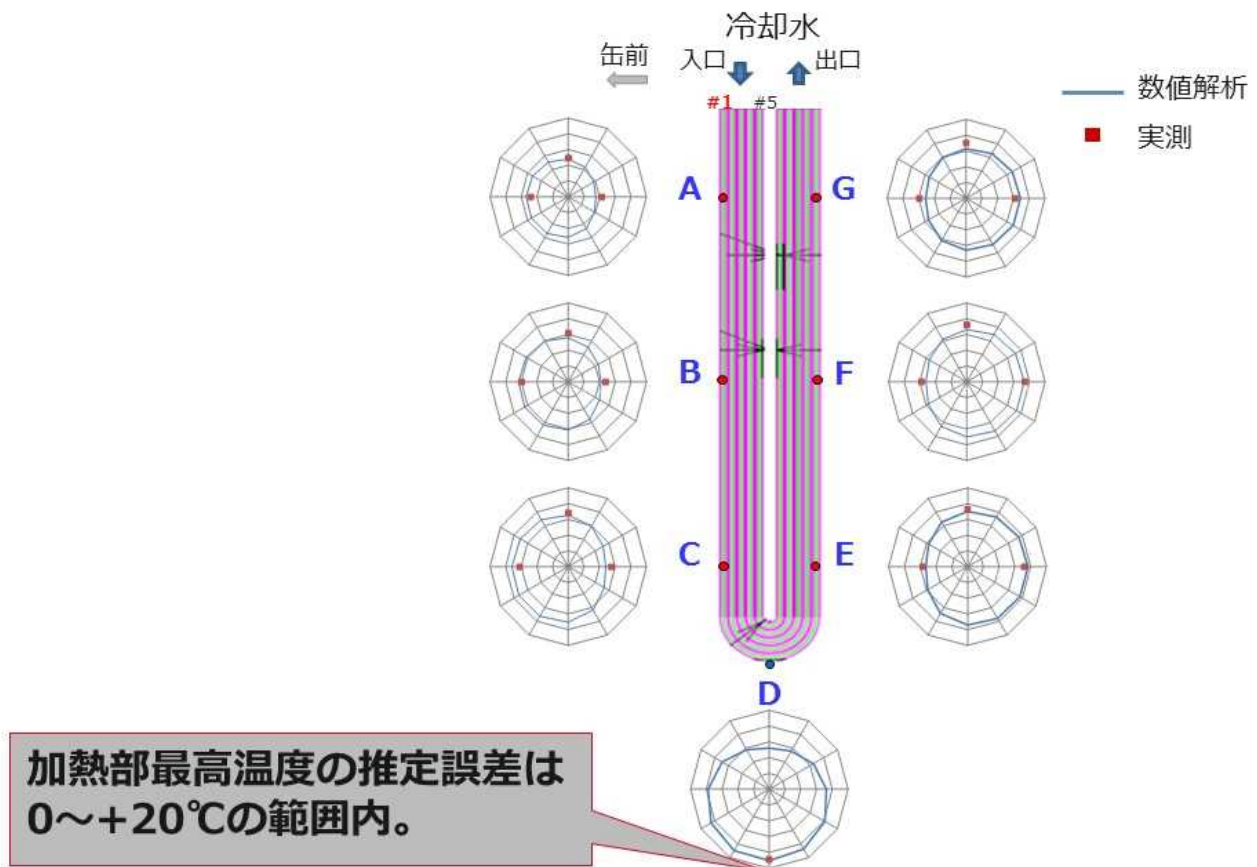


図 3-3 数値解析により予測した最高メタル温度および温度分布傾向と実測値

## (2) Type IV クリープポイド初期検出システムの開発

東北大学は、計測システムの中核となる、大口径非球面集束斜角探触子と、励振用のマルチパルサーにより、後方散乱波の音響映像を用いる音響映像法を提案し、プロトタイプ機の試作・開発を担当した。さらに試作した斜角集束探触子や、開発したパルサーでの計測波形、さらに後方散乱波を用いた音響映像法のクリープ損傷評価の有効性について、基礎特性を調べた。さらに本技術で、Φ数 μm の微小クリープポイド密集が、波長 590 μm の超音波（鋼中 10 MHz）の集束で計測可能となるメカニズムについて、主に FEM 解析シミュレータを開発し、条件を変えた解析結果の検討により考察を加えた。

一方、東北発電工業は、溶接内部にクリープポイドが発生した実機廃却材から試験体を作製し、試験体および東北大学が検証したシステムと斜角集束探触子をベースに、実機火力発電配管の定期点検時に実用できる音響映像システムを試作・開発した(図 3-4, -5)。具体的には、これまで実験室的計測法と考えられてきた水浸映像法を、さらに精密化改造し、現場計測可能な水槽機構、非球面斜角集束探触子を精密の機械走査することで、新しい精密散乱波音響映像システムを開発した(図 3-6)。さらに定期検査毎に同じ位置を計測モニターするため、フェーズアレイで溶接部会合部を検出し、開発した精密音響映像システムで 10 μm ピッチの粗画像で材損傷部を見つけ、最終的に 1 μm ピッチで 1 × 1 mm の精密音響画像による 3 段階で、クリープ損傷の精密な位置同定が行えるシステムである(図 3-6, -7)。

以上により、火力発電機器の定期点検時に実用できる、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(図 3-8)。

表 3-2 目標と達成状況(Type IV クリープポ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 $\mu\text{m}$ オーダーのクリープポイド 900個/ $\text{mm}^2$ 程度を検出できる。	使用済配管から試験体を切り出し、 <b>592個/<math>\text{mm}^2</math></b> のクリープポイドを識別した。
検出時間： <b>20分</b>	60分を <b>25分</b> まで短縮した。
寸法・重量：定検現場 <b>可搬</b> 仕様	総重量は <b>20kg以下</b> となり、9分割にユニット化して可搬性を高めた。



図 3-4 実機火力発電配管の定期点検時に実用できる音響映像システムのセッティング

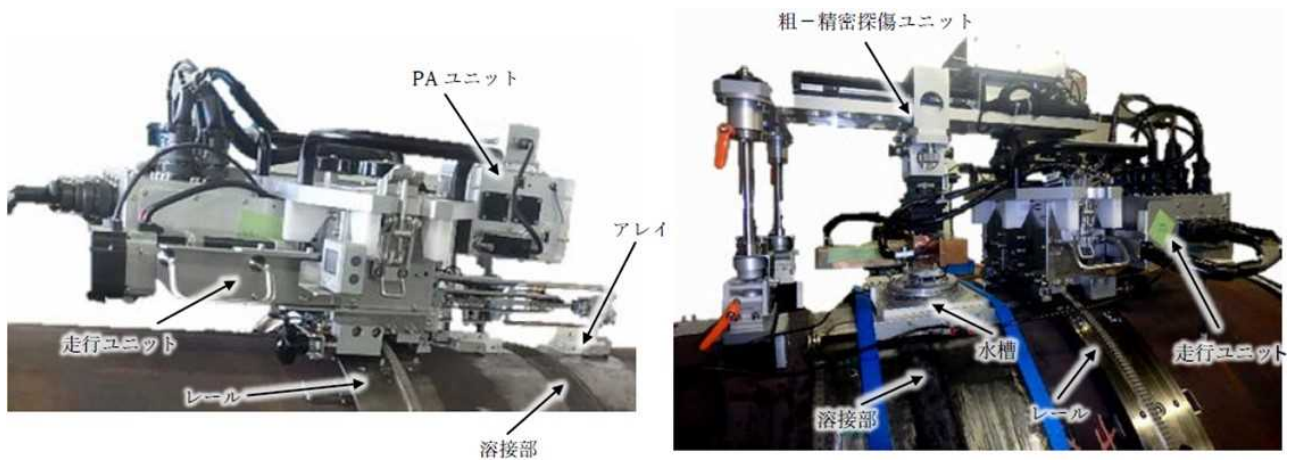


図 3-5 フェーズドアレイ(PA)ユニットと粗-精密探傷ユニット

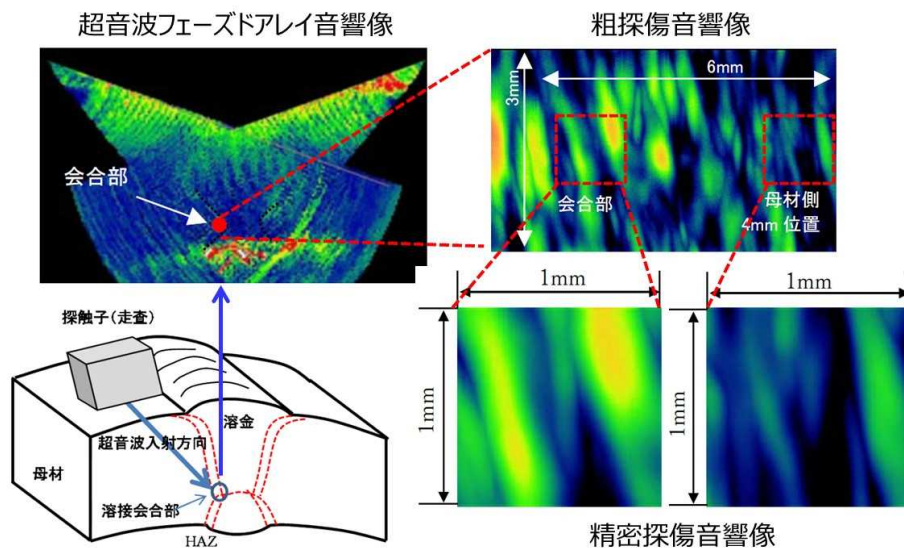


図 3-6 フェーズアレイ音響像と粗-精密探傷音響像

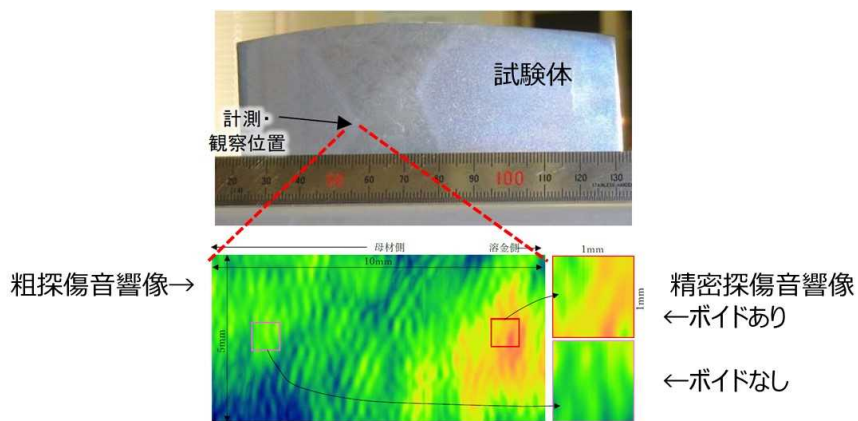


図 3-7 592 個/mm<sup>2</sup> のクリープボイドの有無の探傷音響像



レールユニット



走行ユニット



フェーズアレイユニット

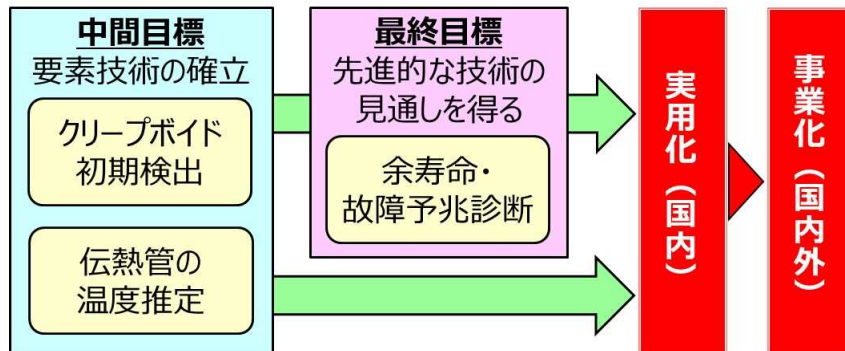


粗-精密探傷ユニット

図 3-8 ボイド計測装置のセッティングと計測イメージ

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

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認し、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。



### (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

#### ① 成果の実用化・事業化に向けた戦略

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。

#### ② 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

国内微粉炭焚き火力発電所において、実機スケール（ボナ本数、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。

#### ③ 成果の実用化・事業化の見通し

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 波及効果について

微粉炭焚きボイラの運転・信頼性向上技術を確認することで、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つながる。

### (2) Type IVクリープボイド初期検出システムの開発

#### ① 成果の実用化・事業化に向けた戦略

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。

## ② 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

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拡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。

## ③ 成果の実用化・事業化の見通し

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 波及効果について

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拡げることに関連技術\*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



【特許論文等リスト】：学会発表

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	相澤威一郎	東北発電工業	高クロム鋼溶接部 TypeIVクリープポイド 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月
2	有賀健、多田隈 聡、小阪健一 郎、山内康弘、 高山明正、森匡 史	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月
3	多田隈聡、有賀 健、小阪健一 郎、山内康弘、 高山明正、森匡 史	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月

P 1 6 0 0 2
-------------

P 1 6 0 0 3
-------------

P 1 0 0 1 6
-------------

P 9 2 0 0 3
-------------

## 「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

### 1. 研究開発の目的・目標・内容

#### (1) 研究開発の目的

##### ①政策的な重要性

2015年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力発電分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、2016年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub>削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。2050年に向けて化石燃料の利用に伴うCO<sub>2</sub>の排出を大幅に削減していくためには、あらゆる技術的な選択肢を追求していく必要があることから、CO<sub>2</sub>を炭素資源（カーボン）と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進することとしており、2019年6月に策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、カーボンリサイクル技術の確立、普及を目指していくこととしている。石炭利用に伴って発生するCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん等への対応や、石炭需要の拡大に伴って、増大する石炭灰及びスラグの有効利用方策を確立することが大きな課題である。そのため、今後とも石炭を活用し、エネルギー需給安定化に貢献していくためにも、より高度なクリーンコールテクノロジーの開発が必要である。

##### ②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率の世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO<sub>2</sub>削減を実現しうるCO<sub>2</sub>の回収・貯留・利用（CCUS）の技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等に加

え、CO<sub>2</sub>を炭素資源と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルを推進する取組が進められている。

また、我が国においては、石炭の排ガスに関して、世界的に見ても非常に厳しい環境基準（環境保全協定値）が定められ、その基準が遵守されている。そのような背景から、脱硫、脱硝、ばいじん処理技術等、高度な環境保全技術が過去から培われており、日本の強みが発揮できる分野のひとつである。一方、石炭利用に伴い排出する石炭灰については、主にセメントの原料として、これまでは有効利用されてきたが、近年セメント生産量は減少傾向にあり、セメント原料に代わる石炭灰の利用方法の確立が喫緊の課題である。

### ③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO<sub>2</sub>排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン、CO<sub>2</sub>有効利用技術等の開発が進められている。また、大幅なCO<sub>2</sub>削減を達成するため、CO<sub>2</sub>分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェクトも進められている。近年の世界的な環境志向の高まりを受け、環境装置の需要は急激に高まっている。特に、中国では環境規制が大幅に見直されており、他国で開発された環境装置を新たに導入している他、自国において、低コスト環境装置の開発が盛んに行われている。

### ④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量のCO<sub>2</sub>を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。また、LCA的な観点も含めたCO<sub>2</sub>の利用に係るカーボンリサイクル技術開発を一元的に進めることで、火力発電プロセスの更なる効率化を図るとともに、CO<sub>2</sub>排出削減に向けた取り組みの効率化を図る。

石炭の効率的利用、環境対応等を目的として、石炭利用の環境対策に関する調査・技術開発を実施する。これらの取組により、石炭の安定調達性が増し、石炭を安価で安定的に使用することが可能となり、我が国におけるエネルギーセキュリティの向上に資する。ま

た、インフラ輸出による日本の輸出拡大に貢献できる他、石炭消費国の産業活性化にも貢献できる。

## (2) 研究開発の目標

### ①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅な向上やCO<sub>2</sub>分離・回収後においても高効率を維持する技術及びCO<sub>2</sub>有効利用技術（カーボンリサイクル等）により、CO<sub>2</sub>排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の見通しを得る。また、石炭灰の有効利用率を100%まで向上させるなど、石炭の有効利用技術を確立する。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

### ②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。CCUSの実現に向け、CO<sub>2</sub>分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>という大幅な低減を達成する。また、CO<sub>2</sub>有効利用の一例として、CO<sub>2</sub>由来のメタンで天然ガスパイプラインの許容圧力変動幅の1割を活用して負荷変動対応に供する場合として、1,300億円相当の天然ガス代替を獲得する。

また、カーボンリサイクルの観点からは、2030年頃に短期的に実現可能な技術（ポリカーボネートなどの化学品、バイオジェットなどの液体燃料、道路ブロックなどのコンクリート製品など）を既存のエネルギー・製品と同等のコスト実現を目指すとともに、2050年以降に実現をめざした需要の多い汎用品（オレフィンやBTXなどの化学品、ガス、液体などの燃料、汎用コンクリート製品など）へ拡大する。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

市場ニーズを見極めつつ、各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスの最適化・効率化を図る。そして、技術開発のプロセスにおけるコスト低減の取組と信頼性の確保により、商用機導入を早期に拡大する。

## (3) 研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO<sub>2</sub>分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証、石炭灰や溶融スラグの有効利用及び削減に関する調査及び技術開発並びに排煙処理技術等の環境対策に関する調査等を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1/3、2/3、1/2）により実施する。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹IGCC実証 (1/3助成)
- 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証 (1/3, 2/3助成)
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証 (1/2助成)

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

- 1) 1700℃級ガスタービン  
(2016～2018年度: 2/3助成、2019～2020年度: 1/2助成)
- 2) 高湿分空気利用ガスタービン(AHAT) (2/3助成)

研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業 (2/3助成)]

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発
- 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発
- 8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発
- 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

研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発 [委託事業]

研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 [助成事業 (1/2助成)]

研究開発項目⑧ CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発 [委託・助成事業]

- 1) CO<sub>2</sub>有効利用拠点化推進事業
- 2) 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>有効利用技術開発・実証事業

研究開発項目⑨ CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発 [委託・助成事業]

- 1) 化学品へのCO<sub>2</sub>利用技術開発
- 2) 液体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術開発
- 3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

- 1) 石炭利用環境対策推進事業 [委託事業]
- 2) 石炭利用技術開発 [助成事業 (2/3助成)]

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本事業は、NEDOが単独又は複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国

際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。)から、原則公募によって実施者を選定し実施する。ただし、移管事業に関してはこの限りではない。

NEDOは、プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー(以下「PM」という。)を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者(プロジェクトリーダー、以下「PL」という。)を指名する。

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④2)、3)、4)は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合性を図るため、プロジェクトチーム(PT)にNEDO新エネルギー部を加える。

#### 研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM:NEDO 高橋洋一、PL:大崎クールジェン株式会社 木田一哉

#### 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

PM:NEDO 山中康朗、PL:三菱重工業株式会社 石坂浩一

##### 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)

PM:NEDO 山中康朗、PL:三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

#### 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

PM:NEDO 足立啓、PL:一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

#### 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

PM:NEDO 中田博之、PL:一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ要素研究

PM:NEDO 春山博司、PL:電源開発株式会社 早川宏

##### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM:NEDO 高橋洋一、PL:三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

##### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM:NEDO 高橋洋一、PL:電源開発株式会社 早川宏

##### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

PM:NEDO 中田博之、PL:一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田道昭

##### 6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発

PM:NEDO 名久井博之、PL:契約毎に設置

##### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

PM:NEDO 西海直彦、PL:日本大学工学部客員教授 坂西欣也

##### 8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

PM:NEDO 名久井博之、PL:NEDOにおいて選定

##### 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

PM:NEDO 新郷正志、PL:一般財団法人電力中央研究所 渡辺 和徳

#### 研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発

PM:NEDO 青戸冬樹、PL:一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

#### 研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM：NEDO 青戸冬樹、PL：一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文  
研究開発項目⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発

PM：牛嶋隆士、PL：NEDOにて選定  
研究開発項目⑨ CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発

PM：山中康朗、PL：NEDOにて選定  
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業

PM：NEDO 西海直彦

## (2) 研究開発の運営管理

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、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率のかつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

### ①進捗把握・管理

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する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

### ②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、2016年度から2024年度までの9年間とする。なお、研究開発項目①及び②は2012年度から2015年度、研究開発項目③は2008年度から2015年度まで経済産業省により実施したが、2016年度からNEDOが実施している。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、事業の意義及び目標達成度や成果に係る技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。研究開発項目①～⑤、⑦～⑨については、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を行い、⑩については事業評価を行う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を2017年度及び2020年度に、事後評価を2023年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を2018年度、事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目④1)は、研究開発項目⑤と統合の上、評価を行う。研究開発項目④2)は、事後評価を2019年度に実施する。研究開発項目④3)、4)は、中間評価を2019年度に、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目④5)は中間評価を2017年度に実施し、研究開発項目④6)は、中間評価を2020年度に、事後評価を2023年度に実施し、研究開発項目④7)は前倒し事後評価を2020年度に実施し、研究開発項目④8)は中間評価を2022年度に、事後評価を2025年度に実施し、研究開発項目④9)は前倒し事後評価を2021年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評

価を2017年度、前倒し事後評価を2020年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦～⑩の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。研究開発項目⑧および研究開発項目⑨は、中間評価を2022年度、事後評価を2024年度に実施する。研究開発項目⑩は、中間評価を2019年度、事後評価を2022年度に実施する。

## 5. その他の重要事項

### (1) 委託事業成果の取扱い

#### ①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る。

#### ②標準化等との連携

得られた事業成果については、標準化等との連携を図り、我が国の優れたカーボンリサイクル・次世代火力発電等技術を普及させるために、標準化への提案等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

事業成果に関わる知的財産権については、「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条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

なお、海外動向や国際展開を見据えた知財管理を行うとともに、海外における知財の確保を積極的に推進する。

#### ④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発及び研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業、研究開発項目⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発及び、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業は、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

#### ⑤データマネジメントに係る運用

本プロジェクトのうち、研究開発項目①石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業3)、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)、研究開発項目⑥次世代火力発電技術推進事業、研究開発項目⑧CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発、研究開発項目⑨CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発及び、研究開発項目⑩石炭利用環境対策事業のうち2018年度以降に公募を行う事業は、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

### (2) 基本計画の変更



PMは、当該事業の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ、第三号及び第六号イに基づき実施する。

(4) その他

最新の技術動向や政策上の必要性に鑑み、必要に応じた研究開発項目の追加や見直しを行うことがある。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2016年1月、基本計画制定。

(2) 2016年4月、3. 研究開発の実施方式 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1) と2)、⑤のPMの変更。

5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 2016年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

(4) 2017年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(2) 研究開発の目標並びに(3) 研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発6) 石炭火力の競争力強化技術開発、7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の①及び⑥の実施時期を修正し、並びに④1)、5)の前倒しの区分を明確化し、④6)、7)、⑦を追加した。

6. その他の重要事項の(1) 委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に知財マネジメント適用プロジェクト名を追記した。

(5) 2017年5月

3. 研究開発の実施体制 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目②の1) と2) 及び④の6) のPMの変更。

(6) 2017年6月

研究開発項目④の1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、2017年度に中間評価を実施する。

(7) 2018年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容のうち、研究開発項目①の2)、3)の助成率を変更した。また、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発8)流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発、9)機動性に優れる広付加帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究の内容を追加した。また、研究開発項目④次世代火力基盤技術開発1)次世代ガス化システム技術開発を、研究開発項目⑤に統合し、研究開発項目⑤の名称を変更した。
3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。
5. 評価に関する事項の④1)、6)、8)、9)の評価時期を追記・修正した。
6. その他の重要事項の(1)委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に注釈を追記した。

(8) 2018年7月

3. 研究開発の実施方式(1)研究開発実施体制 研究開発項目④2)、8)のPMの変更、及び、研究開発項目④5)のPLの変更、研究開発項目④6)のPLの記載変更。別紙 研究開発項目⑥ 1. 研究開発の必要性、2. 具体的研究内容にかかる記載を一部変更した(バイオマスに係る記載の追記)。

(9) 2018年9月

3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目①及び研究開発項目④7)、9)のPLの変更、4. 研究開発の実施期間の変更、5. 評価に関する事項の研究開発項目①の中間評価時期及び事後評価時期の変更、研究開発項目④2)の評価時期変更、研究開発項目④5)の事後評価を削除。6. その他の重要事項のデータマネジメントに係る運用に研究開発項目①3)を追記。また、別紙 研究開発項目①について、期間の延長および、2)CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目④9)について、目標値を補足。研究開発スケジュール表の修正。

(10) 2019年1月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(3)研究開発の内容において、研究開発項目②1)の助成率の変更。5. 評価に係る事項において、研究開発項目⑦の中間評価の追加及び事後評価時期の変更、研究開発項目④8)の前倒し事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④8)の実施期間の変更。別紙 研究開発項目④9)の最終目標を詳細な記載に変更。別紙 研究開発項目⑥の2. 具体的研究内容に燃料多様化に係る記載を追記。別紙 研究開発項目⑦の実施期間の変更及び中間目標の策定、最終目標年度の変更。研究開発スケジュール表の修正。

(11) 2019年7月

- 和暦から西暦へ表記修正。3. 研究開発の実施方式において、研究開発項目④6)、7)、9)、⑤及び⑦のPMの変更。5. 評価に関する事項において、研究開発項目④3)、4)の中間評価の追加及び研究開発項目④2)、3)、4)の事後評価時期の変更。別紙 研究開発項目④3)、4)について、実施期間の延長、中間目標の策定及び最終目標の修正。研究開発項目⑥の文言修正。研究開発スケジュール表の修正。その他誤記修正。

(12) 2020年2月

- 改訂： 基本計画の名称変更、基本計画「クリーンコール技術開発」の統合による記載内容の移管、1. 研究開発の目的・目標・内容(1)(2)において内容の追加、1. 研究開発の目的・目標・内容(3)研究開発の内容及び2. 研究開発の実施方式(1)研究開発の実施体制において名称変更と項目の追加、3. 研究開発の実施期間において期間変更及び追加、4. 評価に関する事項において評価時期の変更及び追加、5(1)④知財マネジメン

トに係る運用⑤データマネジメントに係る運用において対象研究開発項目の追加、研究開発項目④3) 4) において中間評価結果反映のため最終目標を追記。研究開発項目⑧⑨の追加、研究開発項目⑩の移管。

## 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. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO<sub>2</sub>排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、2014年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

以上のとおり、石炭火力発電におけるCO<sub>2</sub>排出量の課題を克服していくことが一層重要となっており、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減を目指す本事業の必要性は大きい。

## 2. 具体的研究内容

本事業では、石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とCO<sub>2</sub>分離・回収を組み合わせた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

## 1) 酸素吹IGCC実証（1/3助成）

IGFCの基幹技術である酸素吹IGCCの実証試験設備により、性能（発電効率、環境性能）、運用性（起動停止時間、負荷変化率等）、経済性及び信頼性に係る実証を行う。

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証（1/3, 2/3助成）

酸素吹IGCC実証試験設備とCO<sub>2</sub>分離・回収設備を組み合わせ、CO<sub>2</sub>分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る実証を行う。また、CO<sub>2</sub>分離・回収装置を追設した場合のIGCC運用性について実証を行う。更に、CO<sub>2</sub>分離・回収と組み合わせたCO<sub>2</sub>液化プロセスを構築する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証（1/2助成）

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適なCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

### 3. 達成目標

#### [実施期間]

- 1) 酸素吹IGCC実証：2012年度～2018年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）
- 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証：2016～2022年度
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証：2018年度～2022年度

#### [中間目標（2017年度）]

##### 1) 酸素吹IGCC実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

商用機の1/2～1/3倍の規模で、1300℃級ガスタービンを採用する実証試験設備により送電端効率（高位発熱量基準）40.5%を達成すれば、1500℃級ガスタービンを採用する商用機（石炭処理量2,000～3,000 t/d）で送電端効率約46%を達成する見通しが得られる。

(b) 環境性能：「SO<sub>x</sub><8ppm」、「NO<sub>x</sub><5ppm」、「ばいじん<3mg/Nm<sup>3</sup>」を達成する（O<sub>2</sub>=16%）。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹IGCCを導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

##### 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO<sub>2</sub>分離・回収設備の詳細設計を完了する。

#### [中間目標（2020年度）]

##### 1) 酸素吹IGCC実証

(a) プラント制御性運用性：事業用火力発電設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源として運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の制御性、運用性を確保する。

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率70%以上の見通しを得る。

我が国における微粉炭火力は年間利用率70%以上で運用されており、酸素吹IGCC商用機を導入する場合にも同等の設備信頼性を確保する。

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹IGCC商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。商用化に向け、実用化時期や日本への供給可能性も考慮に入れつつ、性能と経済性を評価する。

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。  
国内外において酸素吹IGCC商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。また、海外普及を目的としたマイルストーンを検討する。

## 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO<sub>2</sub>を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、高位発熱量基準）程度の見通しを得る。

CO<sub>2</sub>回収時のエネルギーロスによる発電効率の低下という課題に対し、CO<sub>2</sub>を90%回収（全量ガス処理）しながらも、現状の微粉炭火力と同等レベルの発電効率40%程度の見通しを得る。これを実現するために、実証機プラントにおいて、CO<sub>2</sub>分離回収にかかるエネルギー原単位「0.90GJ/t-CO<sub>2</sub>（電気エネルギー換算）」を発電効率に係る性能として確認する。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO<sub>2</sub>分離・回収装置における「CO<sub>2</sub>回収効率>90%」、「回収CO<sub>2</sub>純度>99%」を達成する。

革新的低炭素型石炭火力の実現のためにCO<sub>2</sub>分離・回収装置単体における回収効率は90%以上を目標とする。CO<sub>2</sub>地中貯留から求められる可能性があるCO<sub>2</sub>純度について、湿式物理吸収法を使って定常運転時、体積百分率99%以上を目標とする。

(c) プラント運用性・信頼性：CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従したCO<sub>2</sub>分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。また、生成ガスの全量をCO<sub>2</sub>分離した場合のIGCC運転との相互影響やガスタービン性能についても検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO<sub>2</sub>分離・回収の費用原単位を評価する。

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCを普及させるに当たっては、費用原単位評価が必要であり、CO<sub>2</sub>分離・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施する。また、実用化・事業化に向けたマイルストーンを検討する。

(e) IGCCプラント運用性：

CO<sub>2</sub>分離・回収装置を追設した場合のIGCC運転への影響を確認し、運用性を検証する。

## 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証設備の詳細設計を完了する。また、機器製作に着手する。

[最終目標（2022年度）]

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

CO<sub>2</sub>液化プロセス開発:CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCとCO<sub>2</sub>液化を組み合わせた場合の最適プロセスを構築する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO<sub>2</sub>回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

## 研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

### [実施期間]

1700℃級ガスタービン：2012年度～2020年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）

高温分空気利用ガスタービン（AHAT）：2012年度～2017年度（うち2012年度～2015年度は経済産業省において実施）

### 1. 研究開発の必要性

2008年3月に閣議決定された「Cool Earth —エネルギー革新技术計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、2011年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO<sub>2</sub>排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

また、高温分空気利用ガスタービン（AHAT）は、ガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムで、電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

さらに、石炭ガス化複合発電（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）における更なる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンやAHATシステムの導入が不可欠である。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) 1700℃級ガスタービン

1700℃級ガスタービンにおける性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700℃級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

#### 2) AHAT

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置



の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて商用機化の検討を実施する。

### 3. 達成目標

#### 1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標(2018年度)]

1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。

[最終目標(2020年度)]

1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、及び評価を実施し、送電端効率57%達成(高位発熱量基準)の見通しを得る。

#### 2) AHAT

[最終目標(2017年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

- ・ミドル運用(年間50回以上の起動・停止)の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。

(等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間)

### 研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

[実施期間] 2008年度～2016年度（うち2008年度～2015年度は経済産業省において実施）

#### 1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により700℃以上の蒸気温度を達成できる先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

##### (2) ボイラ要素技術

700℃級候補材料について、耐久試験により、10万時間の長期信頼性を確保する

##### (3) タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

##### (4) 高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

##### (5) 実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（2016年度）]

蒸気温度を700℃へ高めるための要素技術開発を実施し、2020年以降において商用プラントでの送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成の技術的見通しを得る。

## 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

[実施期間] 2015年度～2018年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。

酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。

そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。

これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

##### (1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

##### (2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

##### (3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標（2018年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

2018年度以降については研究開発項目⑤CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発と統合して、新名称 研究開発項目⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発とする。

#### 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

[実施期間] 2015年度～2017年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせ、トリプル複合発電を行うもので、究極の高効率発電技術として、実現が望まれている。

クールアースエネルギー革新技术開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

IGFCにおいては、燃料である石炭ガス化ガスに多種類の微量成分が含まれており、この微量成分の一部が燃料電池の劣化を招き、長期信頼性を損なう可能性があることが懸念されている。

そのため、IGFCの実現に向けては、石炭ガス化ガス中の微量成分の燃料電池への影響を把握するとともに、燃料電池の被毒成分に対するガス精製技術を確立することが必要である。

#### 2. 具体的研究内容

燃料電池用ガス精製技術と燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を確認する。また、特定された被毒成分に対して、成分を許容レベルまで除去するガス精製技術を検討し、模擬ガスによる性能評価を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（2017年度）]

- ・模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を評価する。
- ・模擬ガス試験により燃料電池用ガス精製技術性能を評価し、ガス精製技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間] 2016年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

2015年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO<sub>2</sub>排出原単位：280g-CO<sub>2</sub>/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

さらには、同ロードマップにおいて、IGFCの技術を確立するためには、GTFCの開発成果を活用していくことが示されており、次世代火力発電技術の早期確立に向けて、本事業の必要性は高い。

#### 2. 具体的研究内容

小型GTFC（1,000kW級）の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発し、2022年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発する。

- ・高圧SOFCモジュールを開発する。
- ・ガスタービンとの関係技術を確立する（燃焼器、燃料/空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

[最終目標（2021年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・燃料電池の高性能化による中小型GTFCシステムの最適化を行う。
- ・小型GTFC（出力1,000kW級）において、57%LHV（低位発熱量基準）の発電効率（送電端）の見通しを得る。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間] 2016年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせてトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、IGFCの開発方針として、2025年度頃技術確立、発電効率55%及び量産後従来機並の発電単価の実現を目指すことが示された。

IGFCを構成する高温型燃料電池については、現在、天然ガスを燃料とした燃料電池の開発が進んでいるが、石炭ガスを燃料とした場合の適用性についての検証及びシステムの検討を行う必要がある。

燃料を石炭ガスとした場合に、燃料電池の劣化を引き起こすガス中被毒成分濃度の確認と被毒成分の除去技術についての研究は、すでに着手されている。

IGFCを構成する燃料電池モジュールについて、石炭ガスを燃料とした場合の運用性や性能を把握する必要があることから、実燃料電池モジュールを用いた石炭ガス燃料の適用性試験を行い、その結果を踏まえて、IGFCの技術確立に必要な実証機に係るシステム検討を行う必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

##### (1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO<sub>2</sub>分離・回収を行わないIGFCとCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

##### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH<sub>2</sub>リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンナップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

### 3. 達成目標

#### (1) I G F Cシステムの検討

[最終目標 (2019年度) ]

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

#### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

[中間目標 (2019年度) ]

H<sub>2</sub>リッチガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認するとともに、発電性能を最適化するための運用性を確立する。また、石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの基本性能を確認する。

[最終目標 (2021年度) ]

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。また、石炭ガス適用時の燃料電池出力変化率を天然ガスと同等の1%/min程度とする石炭ガス化炉連係システムを構築する。



## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間] 2015年度～2017年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の開発が進められているが、CO<sub>2</sub>分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失のない高効率でありながら、CO<sub>2</sub>の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

従来、石炭の燃焼時の排気ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収に当たっては、この過程における多くのエネルギー損失が課題となっているが、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術においては、酸素キャリアとなる金属を媒体とする石炭の燃焼反応と金属の酸化反応を二つの反応器で別個に発生させることにより、CO<sub>2</sub>の分離・回収装置及び空気分離装置が不要となり、エネルギー損失のないCO<sub>2</sub>の分離・回収が可能である。

さらに、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電は、流動床燃焼技術を用いることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）が活用でき、IGCCやA-USCが大規模プラントであるのに対して、中小規模プラント（10～50万kW）におけるCO<sub>2</sub>の分離・回収に適しているといった特長がある。

しかしながら、実用化に向けては、酸素キャリアのコスト抑制及び反応塔の小型化に向けた酸素キャリアの反応性の向上という課題がある。

そこで、有望な酸素キャリアの評価と選定並びにプラント構築を目的として、以下の項目を実施する。

##### (1) 酸素キャリアの評価と選定

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等について要素試験にて評価を行い、コストを踏まえて選定する。

##### (2) プラント試設計及び経済性検討

酸素キャリアの反応性からプロセス解析を行うとともに酸素キャリアの流動や循環を検討し、プラント試設計を行う。この結果をもとに経済性検討を行う。

##### (3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等並びに流動や循環を含むプラントの成立性を検証するため、ベンチ試験装置を製作し、試験・評価を行う。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2017年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標（2020年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

2017年度の間評価で、中間目標は達成したものの「データ解釈の精密化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討する」ことが求められたことから、研究開発体制を見直す必要があると考えた。従って2017年度で本研究を中止し、研究開発の内容を見直し、ラボ試験を行いデータを蓄積し精度向上を図ると共に、実用的な設計立案に向け、実機設計技術の確立を目指した要素研究を「研究開発項目④8）流動床ガス化燃焼技術を応用した石炭利用技術開発」で実施する。

## 研究開発項目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

[実施期間] 2017年度～2022年度

#### 1. 研究開発の必要性

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。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、他国性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。

また、2019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。

そこで本事業では、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。そのことにより、日本の石炭火力発電プラントの競争力向上にも寄与する。

#### 2. 具体的研究内容

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開発を実施する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2020年度）]

長期保守契約（L T S A）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。

研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

[実施期間] 2017年度～2020年度

1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源である。

しかし、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多く、将来的にCO<sub>2</sub>分離回収有効利用: Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点ではCO<sub>2</sub>の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。

2030年度以降を見据え、将来の有望なCCU技術の確立を目指して、我が国の優れたCCT (Clean Coal Technology) 等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能なCCU技術について、実用化に向けた開発を実施する。

2. 具体的研究内容

短～中期において大規模且つ高濃度のCO<sub>2</sub> (99%以上)を、エネルギーとして工業的に活用可能な技術開発を実施する。一例として、メタネーション技術については石炭火力発電所等から回収した高濃度CO<sub>2</sub>の適用性を評価する。

3. 達成目標

[最終目標 (2020年度)]

事業終了時に本事業として実施するCO<sub>2</sub>有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では0.9円～1.4円/MJ (LHV)を見通す経済性を評価する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 8) 流動床ガス化燃焼を応用した石炭利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画において、石炭火力は、安定供給性と経済性に優れたベースロード電源の燃料として評価されているものの、温室効果ガスの排出量が多いという問題があるため、高効率化およびCO<sub>2</sub>排出削減が望まれている。

石炭火力からのCO<sub>2</sub>排出抑制技術としては、CO<sub>2</sub>の分離・回収技術があるが、エネルギー損失が大きいことから、発電システムとしてCO<sub>2</sub>を分離・回収できる流動床ガス化燃焼を適用した技術が有望視されている。また、この技術は、バイオマス等を燃料として発電することによるCO<sub>2</sub>排出削減、および副生物として水素を製造できる技術として期待されている。

本技術の適用先としては、バイオマスや水素等の市場が拡大傾向にあることから、その市場への導入を目指し、流動床ガス化燃焼を適用した火力発電設備設計技術の確立に向けた技術開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

流動床ガス化燃焼技術は、流動床技術をベースとして、空気燃焼塔、揮発分（可燃性ガス）反応塔、石炭反応塔（ガス化）で構成され、流動材（酸素キャリア）を媒介として空気燃焼塔で流動材を酸化し、酸化された流動材を揮発分反応塔、石炭反応塔に供給し、酸化された流動材の酸素を用いて石炭をガス化し、発生した可燃性ガスを燃焼させるシステムで、窒素が揮発分反応塔や石炭反応塔に同伴されないことから、石炭は燃焼後、CO<sub>2</sub>、水蒸気、ばいじんとなる。煤塵を集塵機で捕集し、ガス温度を下げることで水蒸気を凝縮するとCO<sub>2</sub>ガスのみが分離回収できる。

本技術は中小規模（100MW級）の発電プラントにも適用でき、多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）に活用できる。また、水素反応器を追加することにより、水素併産が期待できる。また、別置きのCO<sub>2</sub>分離・回収装置や空気分離装置が不要であることから、エネルギー損失がないCO<sub>2</sub>分離・回収および水素製造が可能となる。

具体的研究内容としては、水素併産に最適な流動材の選定およびシステム開発、プラント構成の最適化を実施し、流動床ガス化燃焼を適用した火力発電設備設計技術確立のための研究開発を実施する。例えば、流動材を利用した水素製造技術の最適化、バイオマス燃焼の適用性、長期運転における課題検討などを実施する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2022年度）]

流動床ガス化燃焼を応用した実証設備設計に必要な要素技術の確立に目途をつける。

[最終目標（2024年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せる火力発電設備の設計技術確立および経済性を評価する。

#### 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

##### 9) 機動性に優れた広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究

[実施期間] 2018年度～2021年度

#### 1. 研究開発の必要性

我が国では、2050年に温室効果ガス80%削減の目標が掲げられており、その達成に向けた手段の一つとして、再生可能エネルギー電源（以下、再エネ電源）の増加が見込まれている。2015年7月に公表された、長期エネルギー需給見通しにおいて示された2030年度の電源構成比では、太陽光発電が7%の発電電力量を占めることになる。太陽光発電の利用率を平均の13%とすると、約6400万kWの設備容量を必要とし、これは国内事業用の全発電設備容量の1/4程度に相当する。一方で、普及の拡大が予測される太陽光発電や風力発電の出力は天候に大きく影響を受けるため、電力の安定供給を考えた場合、系統安定化が必要不可欠である。

火力機は、大量に導入される再エネ電源に対応して、需給調整や周波数調整など重要な役割を果たしている。例えば、太陽光発電の日中に生じる急激な天候変動等による大幅な出力変動に対応するには、ガスタービン複合発電（以下、GTCC）を用いることが有望な手段の一つであるが、現状の性能では起動時間が長い、出力変化速度が遅い、最低出力が高い等の課題がある。

そこで本研究開発では、再生可能エネルギー電源の大量導入時の電力安定供給とCO<sub>2</sub>排出量削減の両立を狙い、既存の火力発電設備へのレトロフィットやリプレース向けに定格時の効率を維持したうえで、機動力と再エネ出力不調時のバックアップ電源の両機能を具備した、機動性に優れた広負荷帯高効率GTCCを開発するため、中核機器であるガスタービン（以下、GT）の負荷変動対応に係る要素技術を開発し、実機に組み込める目処を得ることを目的にする。

#### 2. 具体的研究内容

急速起動・出力変動時のGTCCの安定運転の実現に向け、GTの数値解析技術、材料技術、燃焼技術、制御技術、冷却・シール技術などの要素技術開発を行う。具体的には、試験設備を用いて、燃焼器の急速起動・燃焼負荷変動・ターンダウン等の試験、軽量化したタービンロータの設計と翼の試作、クリアランスや冷却・シール空気の能動制御機構の設計等を行い、実証に進める目処を得る。

並行して、発電事業者にとって重要となる設備信頼性の確保に向けて、合理的な設備保守技術の開発研究に取り組むとともに、実機レトロフィットによる機器実証の準備を行う。

表 先行研究で設定されたGTCCとしての目標性能

	起動時間 (ホットスタート)	出力変化速度	1/2負荷における定格からの 効率低下（相対値）	最低出力（一軸 式）
開発目標	10分	20%/分	10%	10%
(参考) 現状性能	60分	5%/分	15%	45%程度

#### 3. 達成目標

[最終目標（2021年度）]

- ・先行研究で設定した目標性能(上表)を実現する目処を得るために、実規模の燃焼器を設計・試作し、単缶実圧燃焼試験により、無負荷から定格まで5分で到達すること、最低負荷条件においても安定燃焼が可能であることを確認する。
- ・急速起動、出力変化速度向上、最低負荷引き下げ、部分負荷時の効率低下抑制を含む、GTCCシステムとしての運転制御技術とGT後流(HRSG-蒸気タービン側)の成立性・性能評価、急速起動に寄与する動翼・ロータの軽量化については、実プラントの設計に反映できる目処を得る。
- ・合理的な設備運用保守を行うために、従来の考え方からの違いを整理する。
- ・対象GTCCと他の調整力電源(揚水発電、蓄電池など)の経済性を比較評価し、事業として成立するための課題を整理する。
- ・既存設備のレトロフィットによる実証研究計画を立案し、実証試験の仕様を明らかにする。

## 研究開発項目⑤ 「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」

[実施期間] 2015年度～2020年度（うち2015年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（2014年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO<sub>2</sub>排出量抑制のためには、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。

### 2. 具体的研究内容

本技術開発においてはCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの開発、水蒸気を添加した次世代ガス化システム及び両技術の相乗効果確認を実施する。とりわけ相乗効果については、既存のIGCCへ両要素技術の適用性についても効果を検証する。クローズドIGCCシステムは、排ガスCO<sub>2</sub>を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub>回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代IGCCシステムである。本システムは高効率に加え、CO<sub>2</sub>の100%回収が可能であるため、CO<sub>2</sub>を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。また、次世代ガス化システムは、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発に向けて、酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっていることから、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの実現に向けては、2008年度から2014年度まで実施した「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量3t/dの小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他のCO<sub>2</sub>分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量50t/d規模のガス化炉を用いた、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。



次世代ガス化システムのこれまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型 I G C C ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだ I G C C システムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があることが分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

(1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

(2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

(3) I G C C システム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだ I G C C の最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

また、両技術の相乗効果確認及び既存の I G C C へ適用した場合の効果を検証する。

開発したガス化技術の活用先拡大に向け、 $O_2/CO_2$ ガス化に水蒸気を加えた $O_2/CO_2/H_2O$ ガス化技術を活用し、ポリジェネレーションシステムを構築するための技術課題を整理する。

### 3. 達成目標

[中間目標 (2017年度)]

$CO_2$ 回収型クローズド I G C C については、送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術確立の目途を得る。

次世代ガス化システムについては、既存の I G C C (1500℃級GTで送電端効率46~48%) を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標 (2020年度)]

$CO_2$ 回収型クローズド I G C C については、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術を確立する。

次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の I G C C (1500℃級GTで送電端効率46~48%) を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

両技術の相乗効果として、2020年度までに $CO_2$ 回収型クローズド I G C C の目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

## 研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間] 2016年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化や再生可能エネルギーの利用拡大、並びにカーボンリサイクルの推進が重要である。これらの推進を実現するには中長期的な研究開発も重要であるため、革新的技術の先導研究や調査が必要となる。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

### 2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の火力発電技術分野およびカーボンリサイクルにおける最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や、新規技術開発シーズ発掘のための調査を実施する。また、IEA/CCC (Clean Coal Centre)、IEA/FBC (Fulldized Bed Combustion)、等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率次世代火力発電システム実現に向けた検討や次世代火力発電における燃料多様化（バイオマス、アンモニア等）のための調査および先導研究を進める。また、カーボンリサイクルにおいては、要素技術検討のための共通基盤技術開発（CO<sub>2</sub>還元、炭酸塩化等）を進める。

### 3. 達成目標

[最終目標（2024年度）]

火力発電技術分野において、CO<sub>2</sub>排出量低減、環境負荷低減及び国際競争力の強化を図るために必要となる基礎的情報や、最新情報の収集・解析及び将来における次世代火力の技術開発や導入可能性について、関連技術の適応性、課題等の調査を行う。また、海外との協力を通して、我が国の優れたCCTの導入に向けた取組を行う。カーボンリサイクル分野において、先導研究や調査の成果を俯瞰して、関連技術の経済性や導入可能性、CO<sub>2</sub>削減効果に関する基礎的情報や課題を整理する。

## 研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間] 2017年度～2021年度

### 1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上が必要である。本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高温材料信頼性向上及び保守技術開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高温材料信頼性向上試験

信頼性向上のため、クリープ疲労試験、異種材料溶接部健全性評価、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等を実施する。

#### (2) 保守技術開発

タービンロータ超音波探傷試験（UT検査）等の精度向上、高効率化、適用箇所の拡大を目的とした非破壊検査技術開発を実施する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充については、各種データの取得を行い、2021年度末までの試験計画を策定する。

表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術については、技術確立の見通しを得る。

[最終目標（2021年度）]

事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。

### 4. その他重要事項

本事業については、他の事業との連携を図りながら、ユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。情報発信及び知財化についても、技術の流出防止と適宜知財化を適切に助成先へ指導する。

## 研究開発項目⑧「CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発」 [委託・助成事業]

[実施期間] 2020年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い課題がある。このような石炭火力を中心とした産業部門から生成するCO<sub>2</sub>を削減するため、2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

2019年9月に開催されたカーボンリサイクル産学官国際会議において、経済産業省より、カーボンリサイクル3Cイニシアティブ、すなわち、3つのCのアクションとして、①相互交流の推進(“C”aravan)、②実証研究拠点の整備(“C”enter of Research)、③国際共同研究の推進(“C”ollaboration)に取り組むことが示された。

カーボンリサイクル技術の開発を効率的に進めるためには、CO<sub>2</sub>の分離・回収が行われている場所において、カーボンリサイクル技術開発を重点的に進める必要がある。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) CO<sub>2</sub>有効利用拠点化推進事業

CO<sub>2</sub>が得られる広島県大崎上島を研究拠点に、複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行い、拠点の運営業務、要素技術開発および実証試験の総括的な評価等を行う。

#### 2) 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>有効利用技術開発・実証事業

2030年の実用化に向け広島県大崎上島の研究拠点において、CO<sub>2</sub>有効利用に係る要素技術開発および実証試験を実施する。

### 3. 達成目標

[中間目標(2022年)]

複数の企業や大学等が要素技術開発および実証試験等を行うための拠点化に向けた検討および整備を行う。また、CO<sub>2</sub>有効利用に係る要素技術開発を行い、実現可能性を検討し、拠点候補地で行うべき事業を選定する。

[最終目標(2024年度)]

2030年の実用化に向け、広島県大崎上島の研究拠点にて個々の技術開発および実証試験を行い、各CO<sub>2</sub>有効利用技術の経済性、CO<sub>2</sub>削減効果等を評価する。

研究開発項目⑨ 「CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発」 [委託・助成事業]

1) 化学品へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

化学品へのCO<sub>2</sub>利用技術については、既存の化石燃料由来化学品に代替可能でありCO<sub>2</sub>削減・CO<sub>2</sub>固定化に繋がること、高付加価値品製造に利用可能であること、新規技術導入による効率向上やコスト低減の可能性があること等から、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方で、現状では基礎研究レベルに留まる研究も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。

### 2. 具体的研究内容

CO<sub>2</sub>を原料とした化学品の合成においては、CO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>Oから基幹物質であるCO、H<sub>2</sub>の合成ガスあるいはメタノール等を製造する技術、これら基幹物質から汎用物質であるオレフィンやBTX（ベンゼン・トルエン・キシレン）等を製造する技術やバイオマス由来の化学品を製造する技術などが必要である。これらについて高効率な製造技術の開発や、全体システムの最適化を行う。

### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

CO<sub>2</sub>を原料とした化学品合成の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2024年度）]

CO<sub>2</sub>を原料とした化学品合成の各技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO<sub>2</sub>削減効果および経済性評価を実施する。

## 2) 液体燃料へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

CO<sub>2</sub>由来の液体燃料については、既存の石油サプライチェーンを活用でき液体燃料の低炭素化を促進する技術であることから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きい。一方で、現状では生産効率やコストなどの面で課題が大きいことから、普及に向けて技術開発に取り組む必要がある。

### 2. 具体的研究内容

液体燃料（CO<sub>2</sub>由来燃料またはバイオ燃料（微細藻類由来を除く））製造に関するFT合成やその他合成反応など製造プロセスの改善、バイオエタノールなど微生物利用合成ガス製造プロセスの最適化検討などに取り組む。

### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

CO<sub>2</sub>を原料とした液体燃料合成の各技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2024年度）]

CO<sub>2</sub>を原料とした液体燃料合成の各技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO<sub>2</sub>削減効果および経済性評価を実施する。

### 3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

[実施期間] 2020年度～2024年度

#### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源であるが、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い課題がある。2019年6月に経済産業省において策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」において、CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等を通じて、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく方針が示された。

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO<sub>2</sub>利用については、CO<sub>2</sub>固定化ポテンシャルが高いこと、生成物が安定していること、土壌改質などへの適用も見込めることなどから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きく、早期の社会実装が望まれる分野である。

#### 2. 具体的研究内容

鉄鋼スラグ、廃コンクリート、石炭灰等の産業副産物、廃鉱物、海水（かん水）等からの有効成分（CaやMgの化合物）の分離や微粉化等の前処理の省エネ化、湿式プロセスにおける省エネ化、安価な骨材や混和材等の開発などの要素技術を開発する。また、CO<sub>2</sub>発生源から製造・供給までの一貫システム構築・プロセスの最適化、用途拡大と経済性の検討を行い事業性について検討する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（2022年）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO<sub>2</sub>利用技術について、要素技術開発および全体システムの構築を行う。

[最終目標（2024年度）]

炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物への各CO<sub>2</sub>利用技術について技術開発もしくは実証事業を実施し、全体システムを最適化するとともに、プロセス全体のCO<sub>2</sub>削減効果および経済性評価を実施する。

## 研究開発項目⑩ 「石炭利用環境対策事業」

[実施期間] 2016年度～2021年度

### 1. 研究開発の必要性

石炭は、経済性、供給安定性に優れた重要なエネルギー資源であり、「エネルギー基本計画」においても、重要なベースロード電源と位置付けられており、今後とも新興国を中心に世界的に利用が拡大していくと見込まれている。一方、石炭利用に伴い発生するCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、ばいじん等への対策や、石炭需要の拡大により増大する石炭灰やスラグの有効利用方策を確立することが喫緊の課題である。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用時に必要な環境対策に関わる調査を実施する。また、今後のCCT開発を効率的に支援するコールバンクの拡充及び石炭の発熱性に係る調査・技術開発を行う。

石炭灰の発生量や有効利用に関する実態調査等を行う。具体的には、国内石炭灰排出量・利用量を把握するとともに、海外の石炭灰利用技術及び利用状況等を調査する。また、石炭灰利用及び削減に係る技術開発を行う。

さらに、石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品として規格化することにより、スラグ製品として新しい販路を開拓し、石炭灰有効利用の用途を広げる。

#### 2) 石炭利用技術開発

石炭灰の利用用途拡大に関する技術開発を行う。

セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術の開発を実施する。加えて、低品位フライアッシュの硬化体原材料としての適用範囲を把握し、有望視される用途（土木分野、建築分野、環境分野等）に適した硬化体製造技術を確立する。

石炭ガス化溶融スラグを利用したコンクリート構造物を製造し、強度、組成、耐久性などに関する評価試験を実施し、信頼性・性能の確認を行う。また、コンクリートを使用する際のガイドラインとなる設計・施行指針を作成する。

### 3. 達成目標

[中間目標（2019年度）]

#### 1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭の発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術の確立に向けた知見を得る。

石炭灰の有効利用、及び削減に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

また、新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データをとりまとめる。

#### 2) 石炭利用技術開発



石炭灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。

[最終目標（2021年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭の発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術確立の見通しを得る。

石炭灰の有効利用、及び削減に寄与する技術確立の見通しを得る。

また、新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データを取りまとめる。

2) 石炭利用技術開発

石炭灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、また設計・施行指針を作成することで、石炭ガス化溶融スラグの製品化用途の提案をする。



年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>研究開発項目①</b> 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 <sub>2</sub> 分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3、1/3助成) 3) CO <sub>2</sub> 分離・回収型IGFC実証(1/2助成)					※1													
<b>研究開発項目②</b> 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													
<b>研究開発項目③</b> 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													
<b>研究開発項目④</b> 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ンアップ技術要素研究(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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 有効利用技術開発(委託)																		
8) 流動床ガス化燃焼を応用し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)																		
<b>研究開発項目⑤</b> CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC技術開発(委託)									※2									
<b>研究開発項目⑥</b> 次世代火力発電技術推進事業(委託)																		
<b>研究開発項目⑦</b> 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																		

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトで2016年度からNEDOへ移管  
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

年度(西暦)	1982	~	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目⑧ CO2有効利用拠点における技術開発(委託・助成)											◇			◆
									CO2有効利用拠点化推進事業					
									研究拠点におけるCO2有効利用技術開発・実証事業					
研究開発項目⑨ CO <sub>2</sub> 排出削減・有効利用実用化技術開発(委託・助成)														
1) 化学品へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発											◇			◆
									化学品へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
2) 液体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発											◇			◆
									液体燃料へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
3) 炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発											◇			◆
									炭酸塩、コンクリート製品・コンクリート構造物へのCO <sub>2</sub> 利用技術開発					
研究開発項目⑩ 石炭利用環境対策事業								◇			◆			
1) 石炭利用環境対策推進事業				※ 2	石炭発熱性調査・先導研究、スラグの規格化、石炭灰発生量及び有効利用実態調査、石炭灰利用・削減技術開発等									
2) 石炭利用技術開発		※ 1	セメント不使用フライアッシュ製造技術開発											
								石炭ガス化熔融スラグのコンクリート実規模性能試験						

※1 経済産業省にて実施

※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

## 2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

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

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

## 目次

### 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

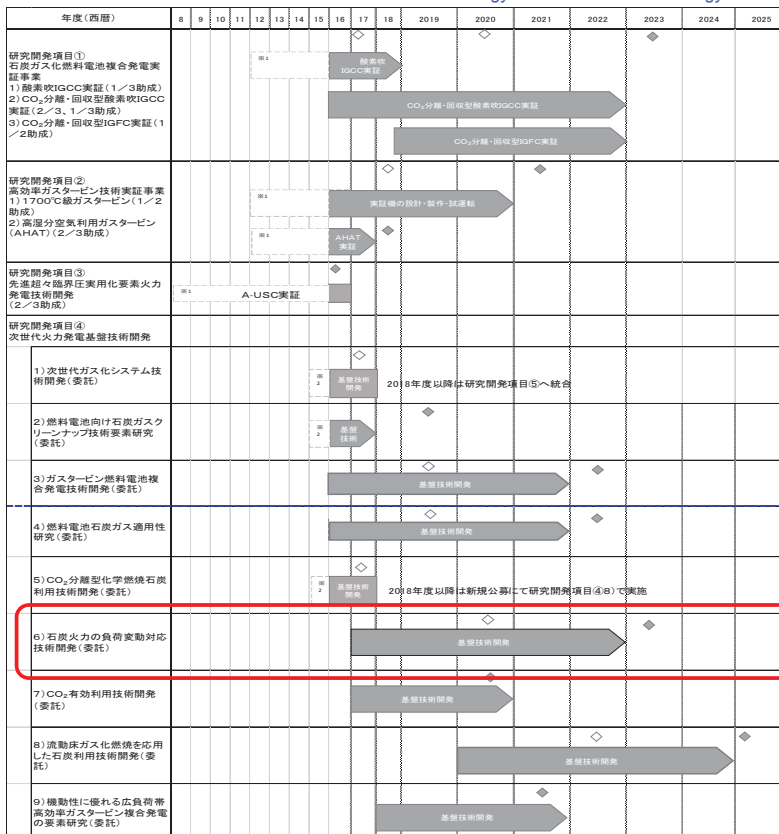
# 1. 事業の位置づけ・必要性

(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\*

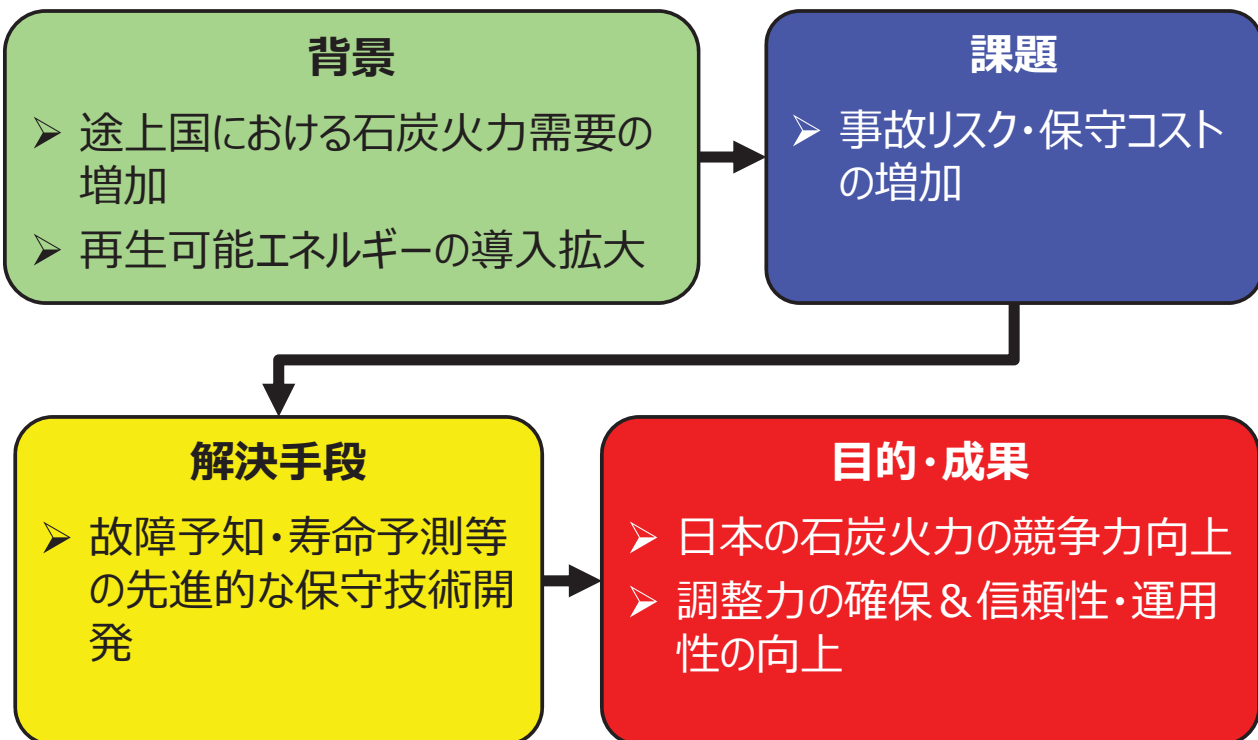


\*一部抜粋

◇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

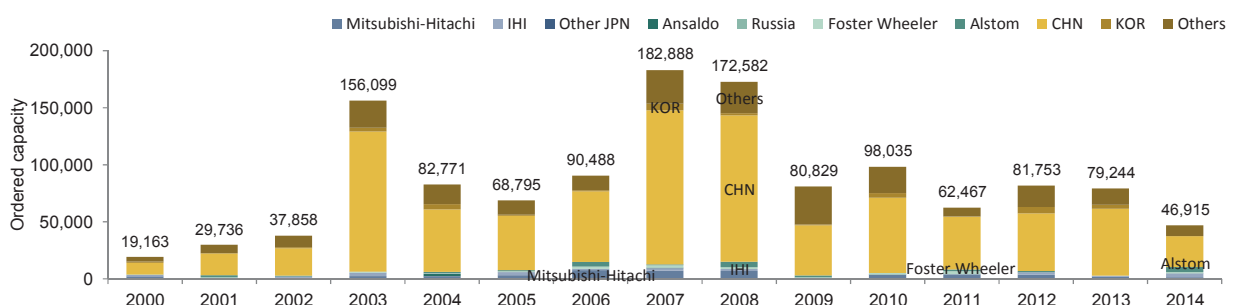


# 1. 事業の位置づけ・必要性

## (1) 事業の目的の妥当性

### ◆ 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



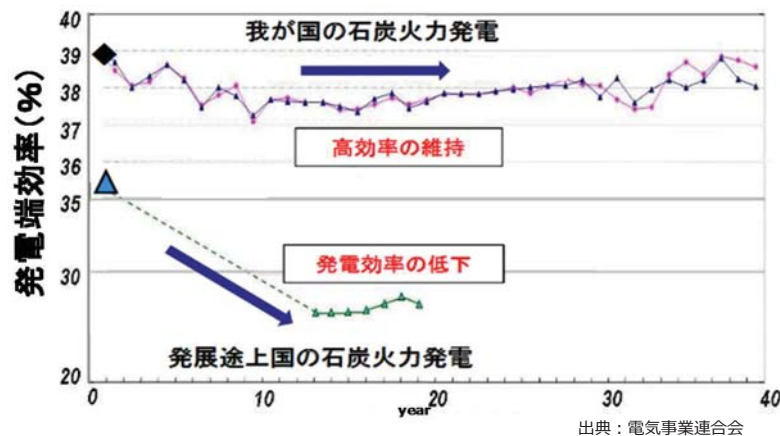
# 1. 事業の位置づけ・必要性

## (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。

	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"> <li>✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト）</li> <li>✓ チューブリークによる計画外停止</li> <li>✓ ボイラー出口温度上昇による効率低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理</li> <li>✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断</li> </ul>	6.2 △	39 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ◎
インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 石炭品質の低下（亜瀝青炭へのシフト）</li> <li>✓ ボイラートラブルに起因する計画外停止</li> <li>✓ パーツストック合理化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃焼シミュレーションDB構築による燃焼状態管理</li> <li>✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断</li> </ul>	- =	16 ○	20 ○	0.3 △	- △	- ○
ポーランド	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 再エネ対応</li> <li>✓ 環境負荷の低減</li> <li>✓ 計画外停止の根絶</li> <li>✓ 石炭品質管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 部分負荷効率向上サービス</li> <li>✓ 新規センサー開発等による故障予知・余寿命診断</li> </ul>	1.1 △	17.6 ○	3.5 △	0.3 △	- ◎	- ○

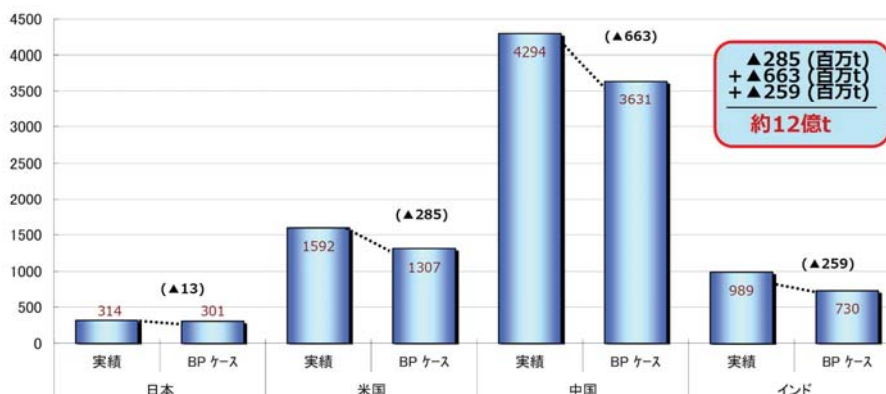
## 1. 事業の位置づけ・必要性

### (1) 事業の目的の妥当性



#### ◆ 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整合的な形で、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

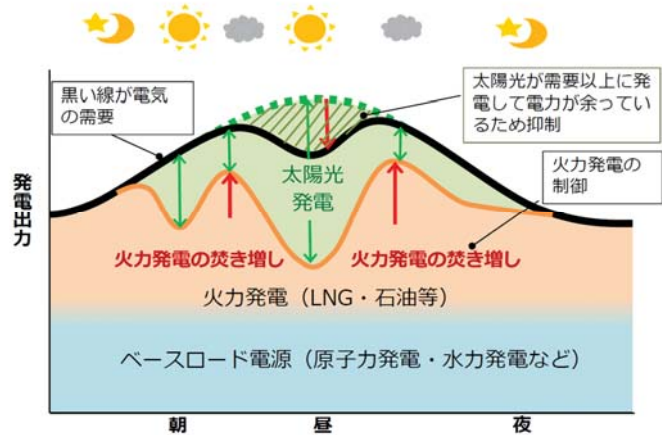
# 1. 事業の位置づけ・必要性

## (1) 事業の目的の妥当性

New Energy and Industrial Technology Development Organization

### ◆ 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。



出典：資源エネルギー庁ホームページ

11

# 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。

13

# 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\*<sup>1</sup>される見込み⇒ 24GW/年⇒ 想定される市場規模は**約6兆円/年**\*<sup>2</sup>
- 世界のボイラ市場に占める日本企業のシェアは7.5%\*<sup>3</sup>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。

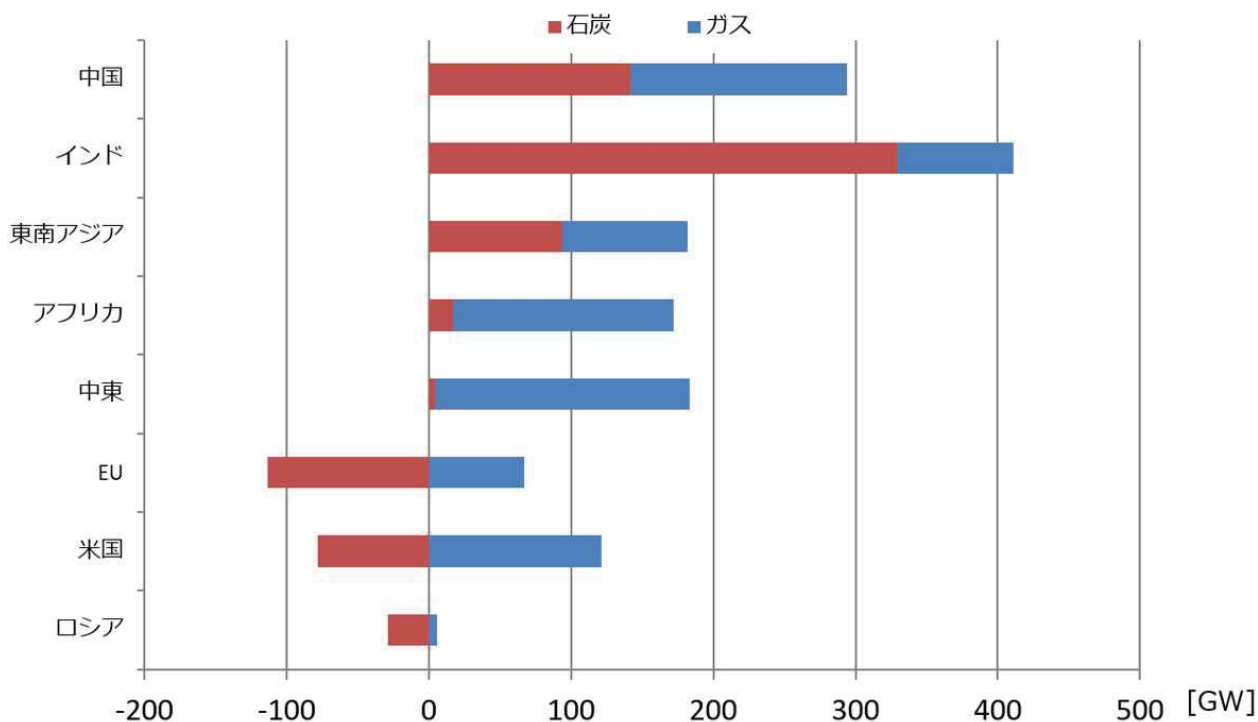
\* 1: 「World Energy Outlook 2019」記載の2018年～2040年の新設容量（リプレースを含む、建設中を除く）。

\* 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**

14



(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

#### ◆ 実施の効果 (CO<sub>2</sub>排出抑制)

	排出原単位/g-CO <sub>2</sub> kWh <sup>-1</sup>
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CO<sub>2</sub>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。

**CO<sub>2</sub>排出抑制量 152 g-CO<sub>2</sub>/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**

17



New Energy and Industrial Technology Development Organization

## 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

18

## 2. 研究開発マネジメント

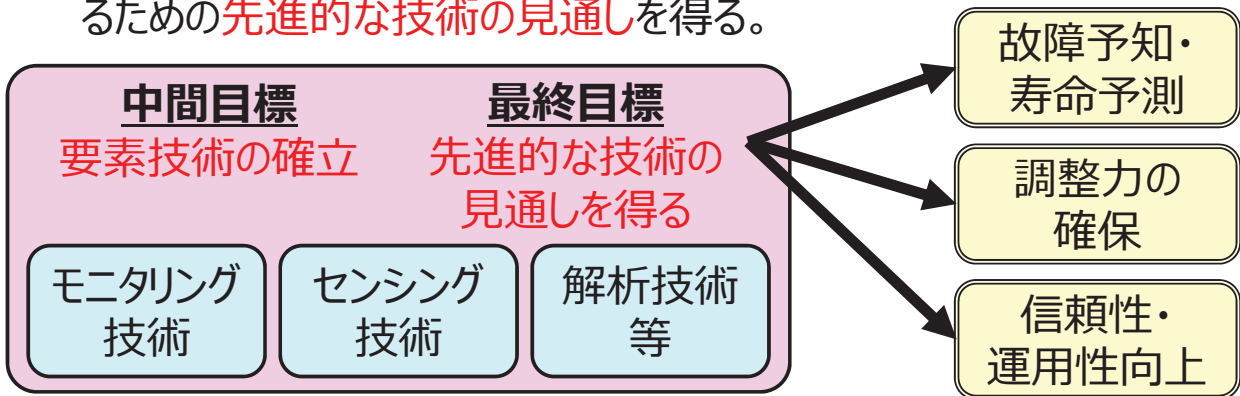
### (1) 研究開発目標の妥当性

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)

21

## 2. 研究開発マネジメント



### (1) 研究開発目標の妥当性

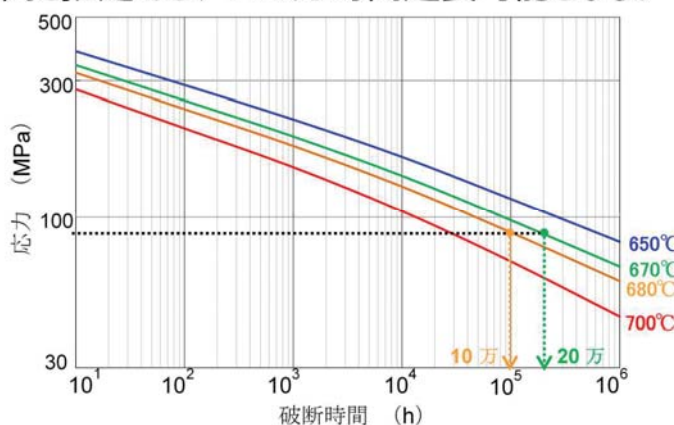
New Energy and Industrial Technology Development Organization

#### ◆ 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)

22



## 2. 研究開発マネジメント

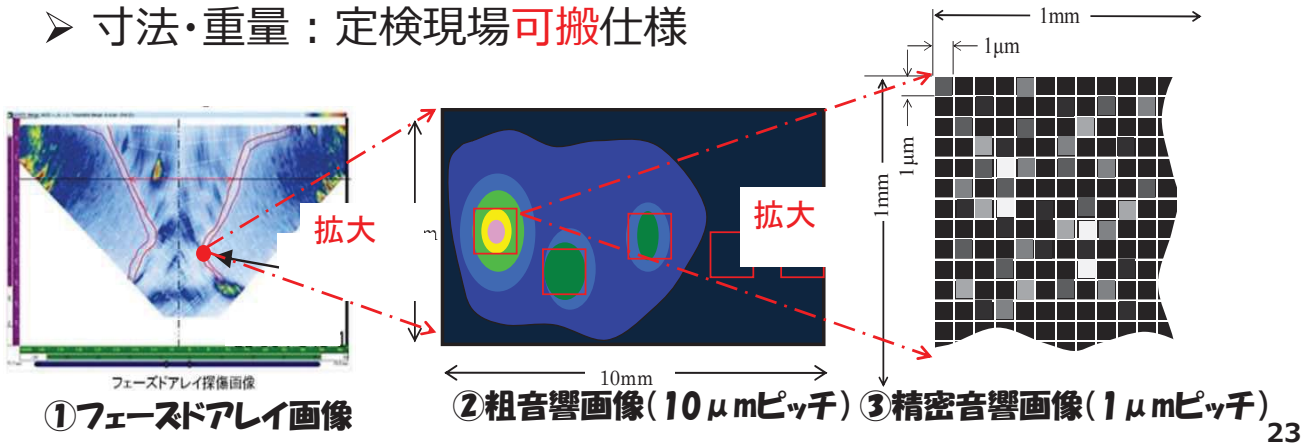
### (1) 研究開発目標の妥当性

#### ◆ 研究開発目標と根拠（クリープポイド初期検出システムの開発）

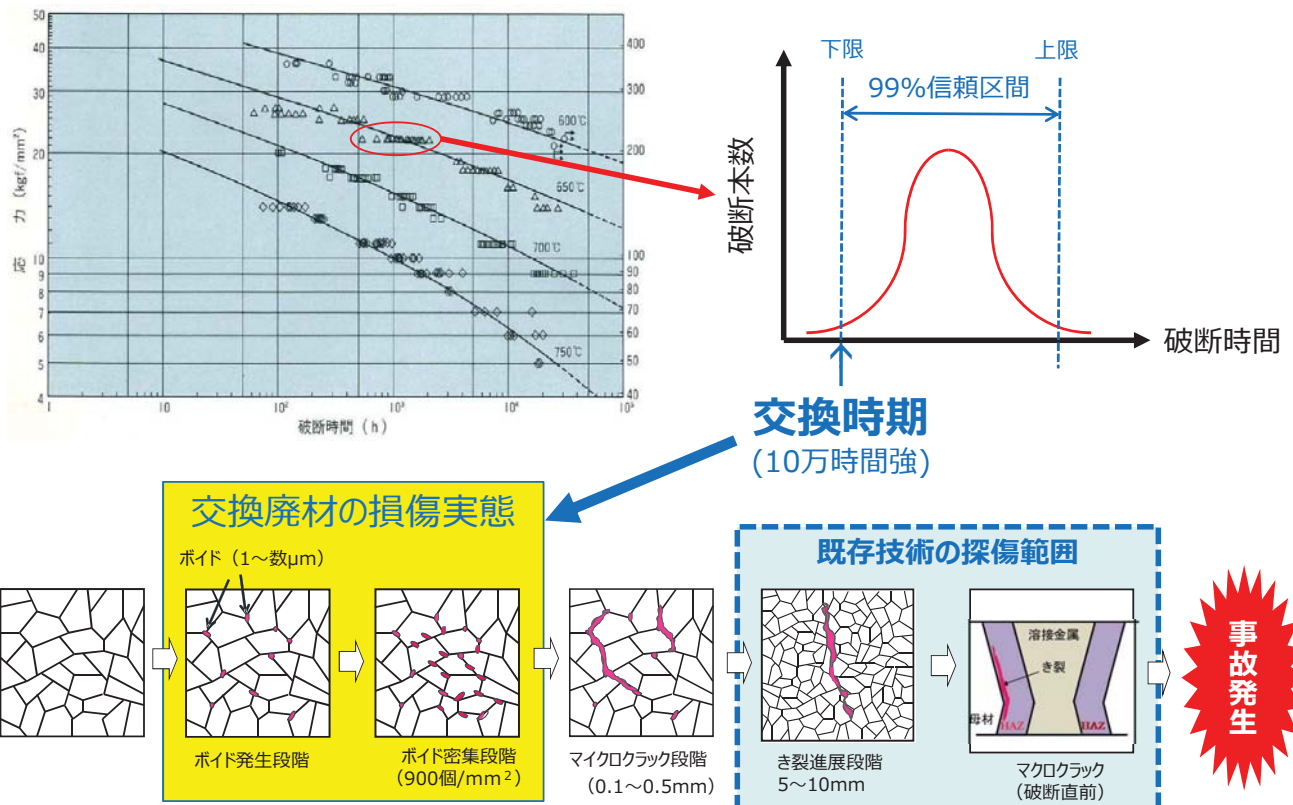
- 配管内部の溶接会合部に発生する $\mu\text{m}$ オーダーのクリープポイド **900個/ $\text{mm}^2$ 程度\***を検出できる。

\* 900個/ $\text{mm}^2$ 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

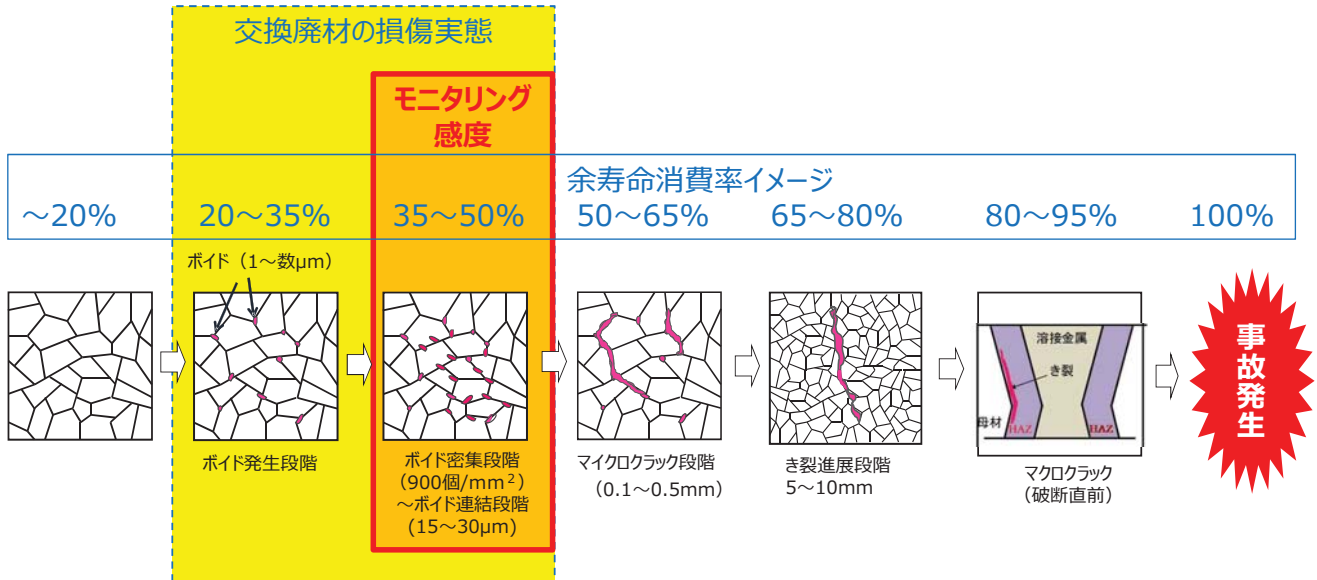
- 検出時間：**20分**
- 寸法・重量：定検現場**可搬**仕様



### 【参考】配管の交換時期の設定イメージ



- 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
クリープポ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

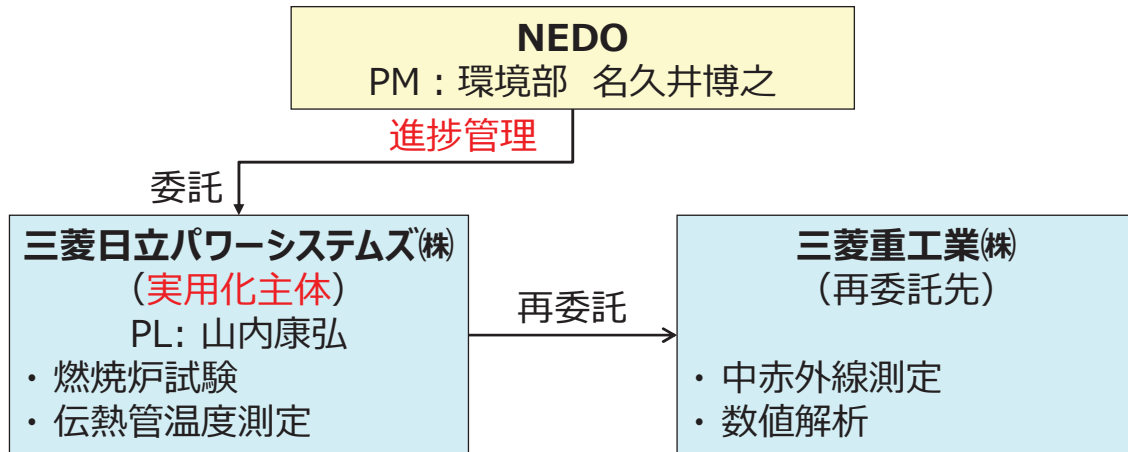
### (3) 研究開発の実施体制の妥当性



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)



27

## 2. 研究開発マネジメント

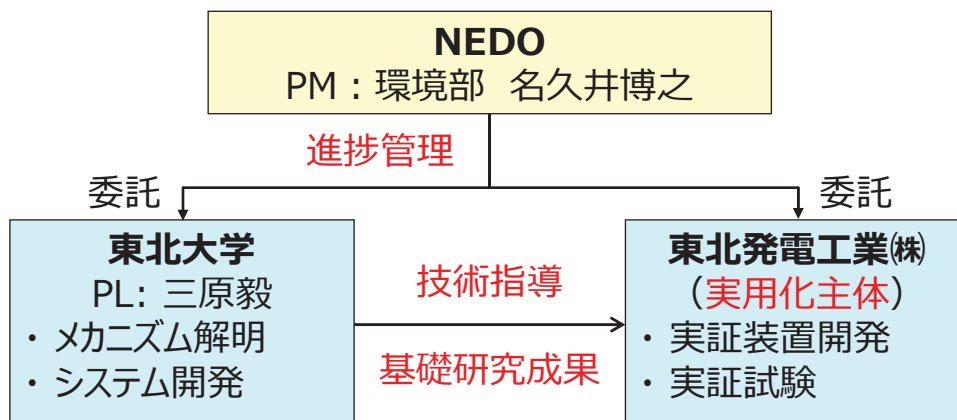
### (3) 研究開発の実施体制の妥当性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

#### ◆ 研究開発の実施体制

(クリープボイド初期検出システムの開発)



28

## 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。

!9

#### 【参考】技術検討委員会(2019年2月1日)委員の主な意見



New Energy and Industrial Technology Development Organization

- 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。

30

## 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。

31

## 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**。

32

## 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。



New Energy and Industrial Technology Development Organization

## 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。

35

### 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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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。

36

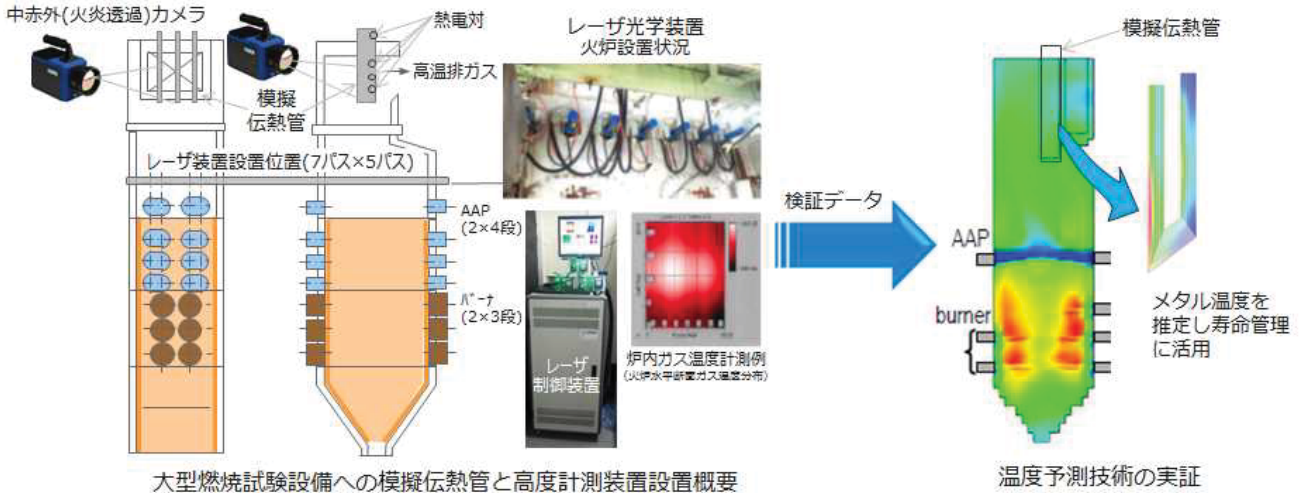
### 3. 研究開発成果

#### (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。



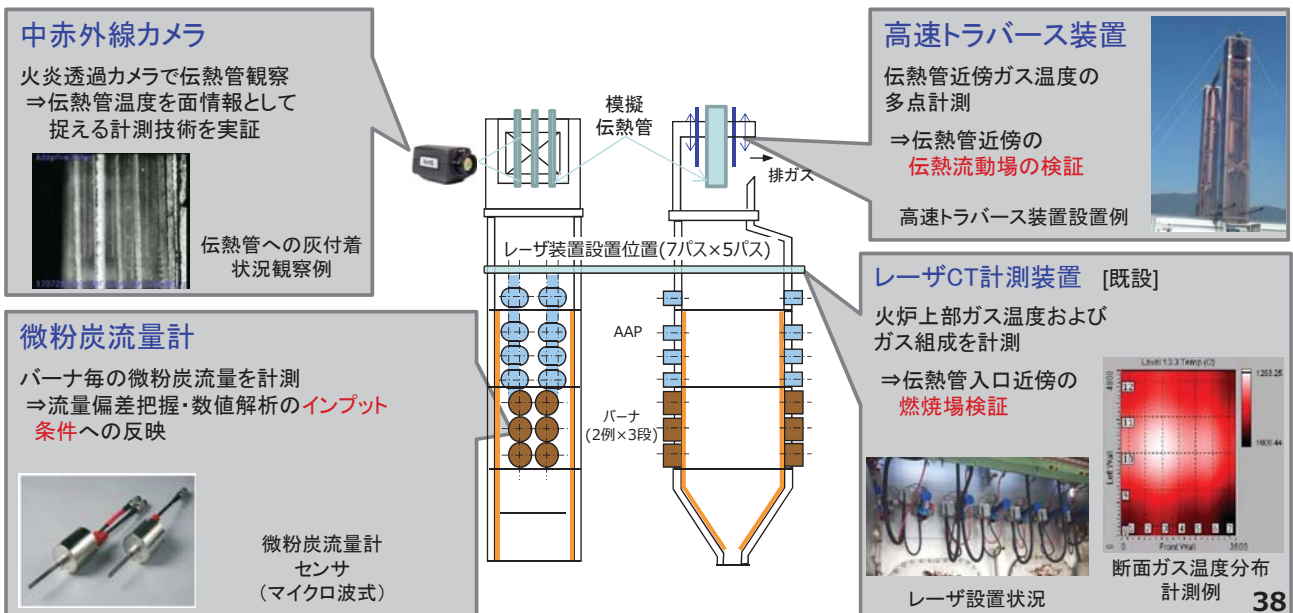
### 3. 研究開発成果

#### (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。





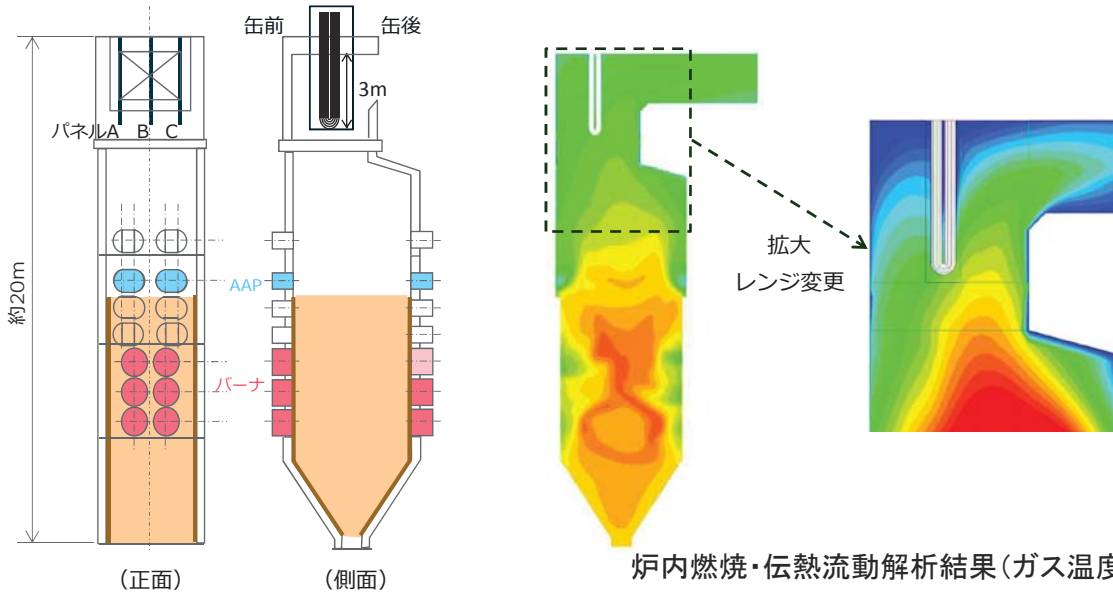
### 3. 研究開発成果

#### (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 (微粉炭焼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)

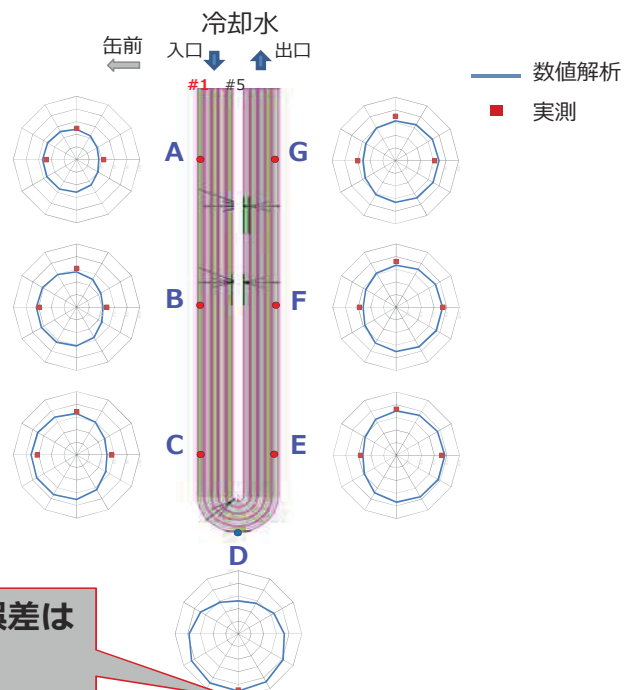
### 3. 研究開発成果

#### (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 (微粉炭焼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

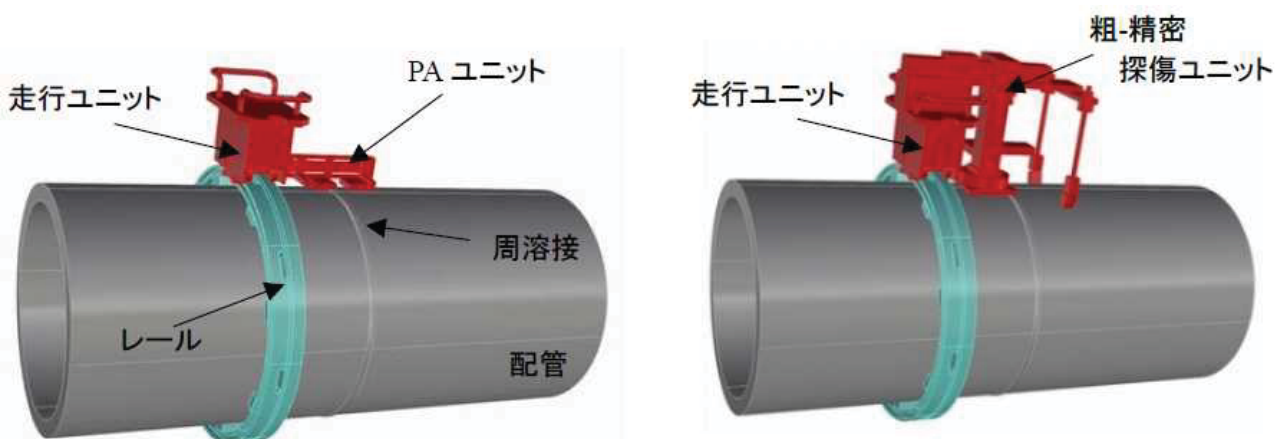
### 3. 研究開発成果

#### (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

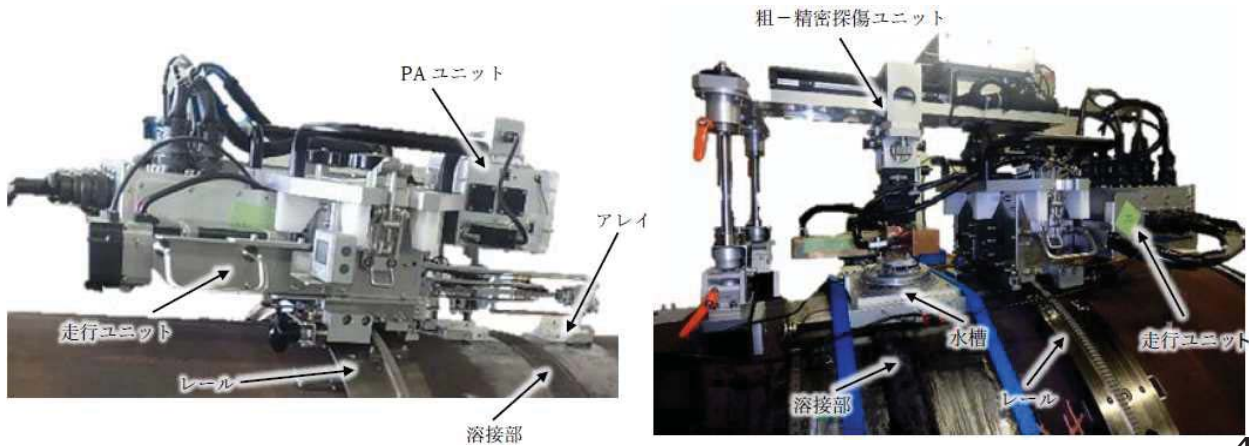
#### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義



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 $\mu$ mピッチの音響映像による**粗探傷**、さらに1 $\mu$ 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

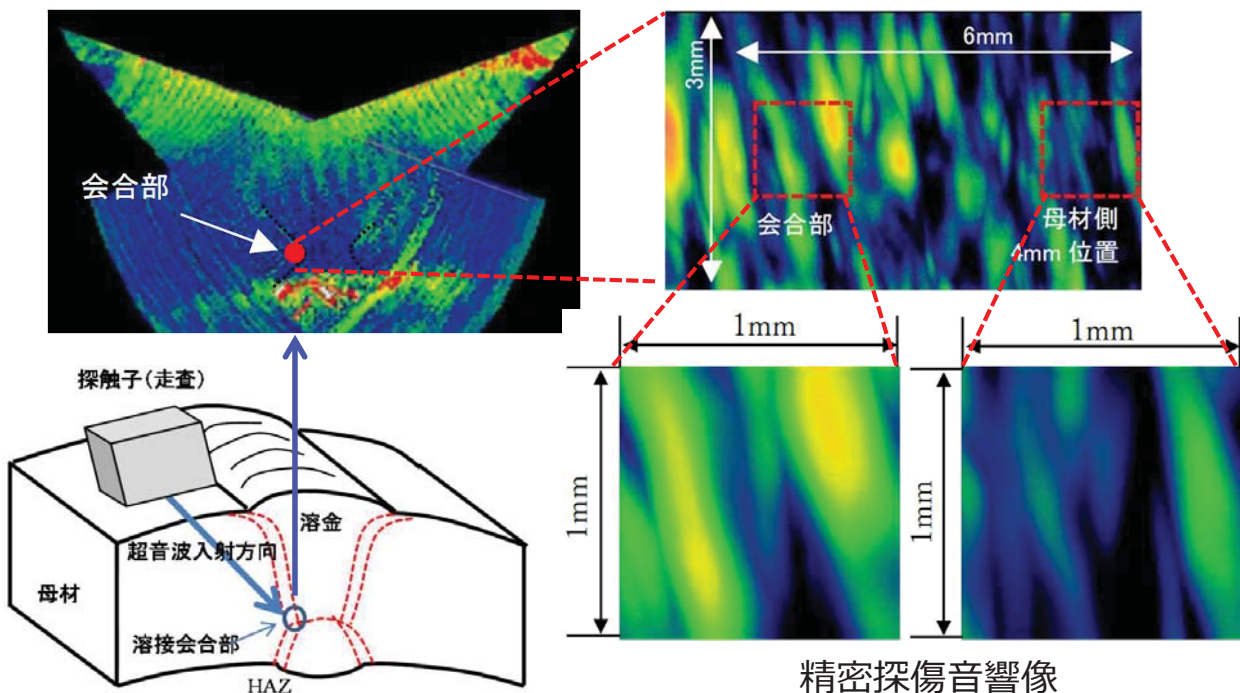


New Energy and Industrial Technology Development Organization

#### ◆ 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





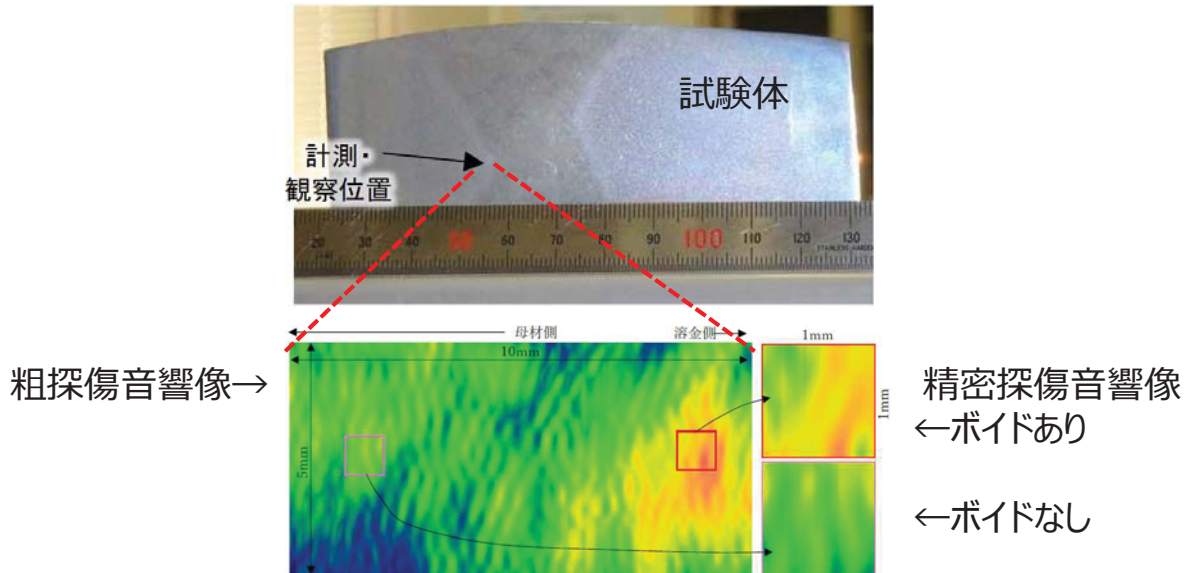
### 3. 研究開発成果

#### (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/mm<sup>2</sup>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**（ $\mu\text{m}$ 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

47

### 3. 研究開発成果

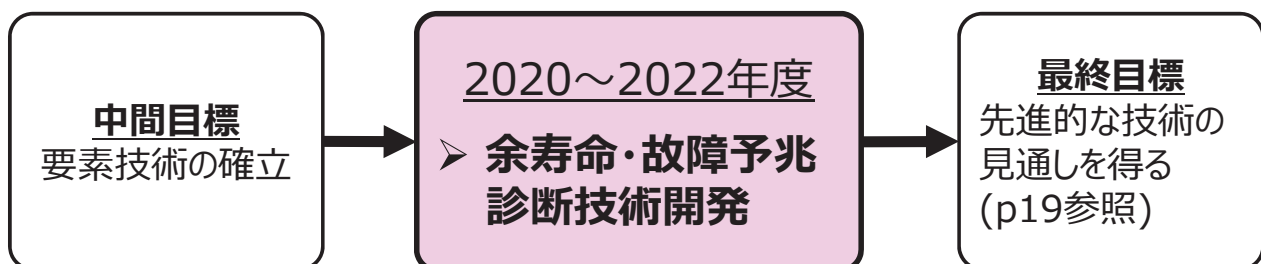


#### (2) 成果の最終目標の達成可能性

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。**



48

## 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。

49

## 【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。



50

## 【参考】電力会社向け成果発表会

- ▶ 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



51

## 【参考】学会発表

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 Type IV 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

52

### 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 クリープポ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クリープポイドの実機評価方法」については2016年に**出願済み**。

53



New Energy and Industrial Technology Development Organization

## 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。

54



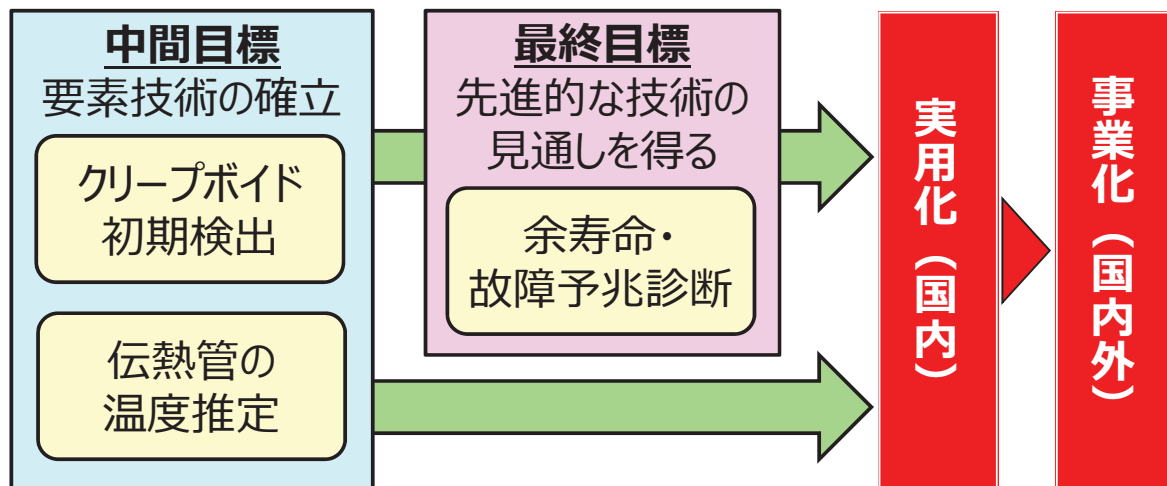
## 4.成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し



### (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。



55

## 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。

56

## 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。

57

## 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**（ボーナ本数、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。

58

## 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を考えている。
- 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。

59

## 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。

60

## 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。

61

## 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。

62

## 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拡げることで**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

63

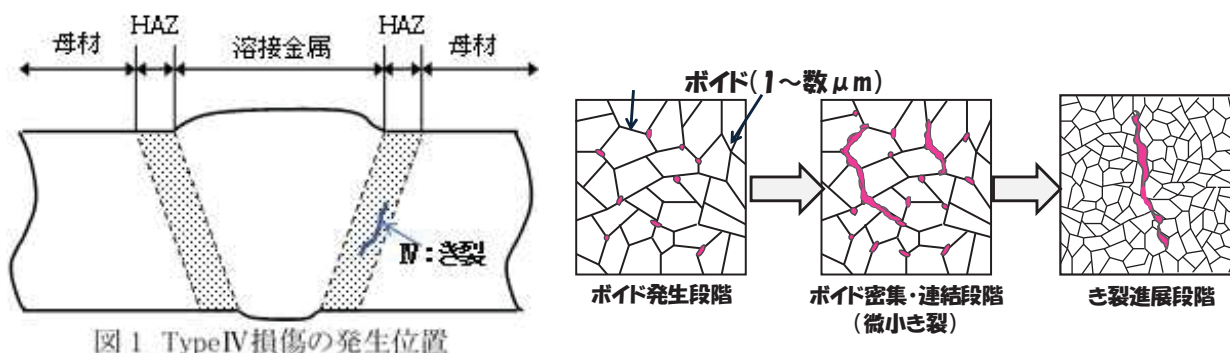


New Energy and Industrial Technology Development Organization

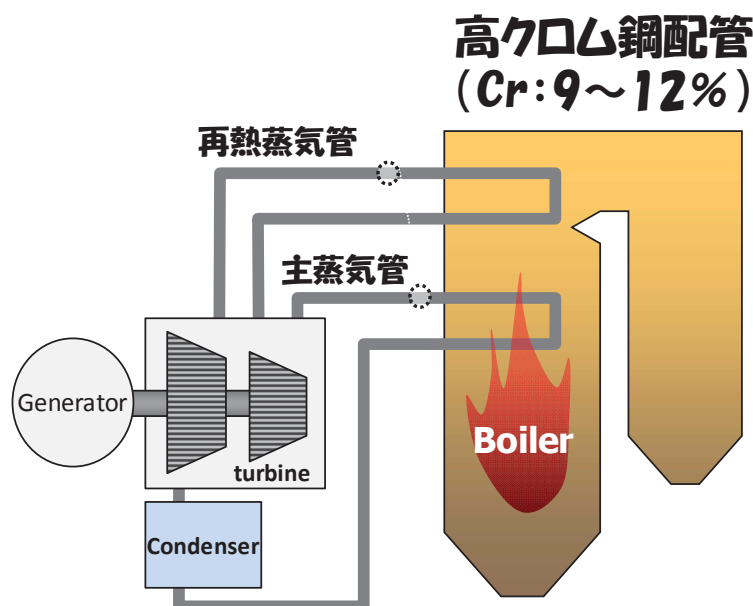
## 補足資料

64

- 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。



- 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クリープポイドの発生は溶接熱履歴等に依存し、部材内部となる。



## 参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会  
「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) 分科会  
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2020年6月22日(月) 14:00~15:15

場 所 : NEDO 川崎 2302, 2303 会議室 (オンラインあり)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員※>

分科会長 成瀬 一郎 名古屋大学 未来材料・システム研究所/大学院工学研究科システム工学  
所長/教授

分科会長代理 緒方 隆志 千葉工業大学 工学部 機械工学科 教授

委員 井原 郁夫 長岡技術科学大学大学院 工学研究科 機械創造工学専攻 専攻長/教授

委員 大谷 俊博 湘南工科大学 工学部 機械工学科 教授

委員 岡部 治美 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部  
材料・化学エリア 主任研究員

※ 分科会長以外はリモート参加

<推進部署>

田中 秀明 NEDO 環境部 部長

名久井 博之(PM) NEDO 環境部 主査

在間 信之 NEDO 環境部 統括調査員

青戸 冬樹 NEDO 環境部 主任

<実施者※> ※リモート参加

山内 康弘(PL) 三菱日立パワーシステムズ株式会社 エンジニアリング本部 ボイラ技術総括部  
ボイラ戦略部 技監・主幹技師

有賀 健 三菱重工業株式会社 総合研究所 サービス技術部 サービス技術第一研究室 主席研究員

三原 毅(PL) 東北大学大学院 工学研究科 教授

相澤 威一郎 東北発電工業株式会社 エンジニアリング部 主任研究員

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長

塩入 さやか NEDO 評価部 主査

川井 佳子 NEDO 評価部 主査



## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 位置付け・必要性について、研究開発マネジメント
  - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
  - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 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
  - 6.2 TypeIV クリープボイド初期検出システムの開発と石炭火力の保全手法の確立

(公開セッション)

7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
  - ・開会宣言 (評価事務局)
  - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
  - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
  - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について
  - 評価事務局より資料2及び3に基づき事前説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」を非公開とした。
4. 評価の実施方法について
  - 評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき事前説明した。
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメントについて
  - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組および見通し
    - 推進部署より資料5に基づく事前説明 (と書面質疑応答) と補足説明が行われた。

【川井主査】 議題5についてご説明します。5.1および5.2、こちらは議事次第の番号です。こちらのプレ

ゼンテーション資料は事前郵送し、スライドショーの動画もメールさせていただいております。また事前の質疑応答も行っています。さらに当分科会にて質疑応答をいただければと思います。

【成瀬分科会長】 その前に、推進部署から補足説明がありましたら、お願いします。

【名久井 PM】 私はこのプロジェクトのプロジェクトマネージャーを務めている名久井です。今回の中間評価の質疑応答に入る前に、全体の概要や目的をお伝えしたいと思います。今回、事前に質問のやり取りを行いました。その中で、委員の先生方から少し分かりにくいという質問が多くあった一つが目的と全体のスケジュールです。こちらについて、少し補足させていただきます。

まず、お手元の公開資料の資料5の12枚目のシートに、この事業の目的を記載しています。背景にもありますが、日本は石炭火力の火力発電技術というプラントの技術として、非常に高い発電効率と稼働率を持っています。他国に比べて、非常に高いものを持っています。日本の石炭火力の強みである信頼性を維持、向上させるというのが、まず一つ目の本事業の目的です。さらに今後、日本のみならず海外でも再生可能エネルギーの導入拡大が広まっていくことが確実になっています。その中で、石炭火力においては、調整力の確保ということがあります。再生可能エネルギーが入ってきたとしても、周波数や電圧を一定に保つ、調整力の確保が求められています。それに伴い、運用性の向上が求められています。この目的を達成するために、本事業において先進的な故障予知技術や寿命予測等の技術開発を行っています。

続いて、同じ資料の26ページに、全体のスケジュールを示しています。今回の事業は2017年度から2022年度までの6年間の事業です。前半の3年間をかけて、中間目標の達成を目指した2件の研究開発を実施し、昨年度、終了しています。本日の分科会においては、前半の研究開発について、中間評価を行うという位置付けで、皆さんにご審議いただいています。そういった位置付けで、今回、中間的なご評価を行っていただきますので、よろしくお願いいたします。

### 5.3 質疑応答

それらの内容に対し、以下に示す質疑応答が行われた。

【成瀬分科会長】 今の件について、委員からご質問がありましたら受けたいと思います。よろしいでしょうか。何も聞かえないので、ないということで進めます。質問がありましたら、適宜、ご発言ください。ここからは、各委員からご意見、コメント、質問をいただきたいと思います。緒方先生、よろしくお願いいたします。

【緒方分科会長代理】 質問させていただきます。

まず、クリープボイドの初期検出システムの開発についての部分です。成果については、研究成果の44ページ以降になりますが、この方法はまずフェーズドアレイで行って、その後、粗探傷、精密探傷を行うと理解しています。周溶接にしても長手にしても、メーカーによってXあるいはU、狭開先のIなど、開先形状はいろいろ違ってくると思います。開先形状が分からないときに、どのように明らかにするのでしょうか。それを明らかにできないとHAZ (Heat Affected Zone) の位置がわかりません。そういったことをどのように行うかというのが、まず1点目の質問です。

もし、それが分かったときにHAZの部分をもっとフェーズドアレイで行って、ボイドがあるであろう所を見つけて、次に粗探傷、精密探傷と細かくしていくという方法をとると思います。フェーズドアレイが数mm以上ということであれば、まずボイドがどこに発生しているか、密集しているかをみつけることができないと思います。それができないのに粗探傷、精密探傷に進めるのかということが2点目です

【三原 PL】 よろしく申し上げます。ご指摘いただいたとおりです。

概要は緒方先生がお話しされたように3段階になっています。最初の段階では、溶接金属との境界部分をフェーズドアレイで見つけて、会合部というくびれた部分に応力集中が発生するとの知見から、そ

の辺りを狙って粗探傷を実施するというシステムです。ご指摘のあった開先形状が全く分からないことは、どのぐらいあるか分かりません。幾つかの電力会社に聞いた範囲で、この開先部分がどの部分にあるか分かっているという前提で手順は決めています。フェーズドアレイで溶接部の形状を見て、くびれている部分を集中的に粗探傷で計測し、散乱が大きい所を狙って精密探傷を行うというストーリーになっています。会合部をよりどころにして計測を行うという計画です。

【緒方分科会長代理】 分かりました。

全てが X 形状や会合部がはっきり分かるような溶接であればいいですが、そうではない溶接もあります。その場合は難しいという解釈で良いですか。

【三原 PL】電力の方と話した感じだと、ターゲットにしている部分の精密計測は、計測に時間がかかるので、損傷が一番初期に進むだろうという所をねらって、計測を行うシステムです。こちらについて、われわれは専門家ではないのですが、電力の方に話を聞くと、損傷部分は大体この辺りというように狙えると聞いているので、正しい推定が可能だと思っています。もちろん、全く分からないという場合も、溶接部の形はフェーズドアレイで同定できるので、ある程度の絞り込みはできると期待しています。

【緒方分科会長代理】 もう 1 点、お願いします。

45 ページの粗探傷の音響像があって、その右側に精密探傷の音響像があります。見方がよく分かりませんが、粗探傷の音響像の赤っぽく見える所は信号が強い所だとすると、かなりの領域に広がっているようにも見えます。赤やオレンジから定量的にこの程度あればボイドの密集がこのぐらいということは分かりますか。これだけだと、かなり広い範囲を見ないと分からないように思えます。これだけオレンジが見えるなら、ボイドがこの領域全体で密集しているというふうにも見えます。いかがですか。

【三原 PL】 この映像は、今、ご指摘があったように粗探傷と精密探傷で計測した音響画像が対応するかを見ていただくためにカラーで表示したものです。暗い部分までデフォルメして表示しています。

実際のボイド部の判定は、グレースケールで行います。そうすると、この緑色が消えて、オレンジ色の部分しか見えない状況でジャッジするような形になります。また粗探傷では 10 $\mu\text{m}$  ピッチでの画像なので、分解能としてはあまり高くありません。一方、精密画像では 1 mm 四方の狭いエリアを 1 万点、数万点の画素数で観察しています。従って、最終的な定量評価は、粗探傷ではなく、精密探傷画像でないと、定量評価はできないと思います。現在の各画像の感度は定性的に見ると、粗探傷でも十分判定できるように感じますが、実際の感度は随分違います。従って音響画像で赤くなった広いエリアにボイドが例えば連結する形で密集しているのではなく、計測画像で捕まえているボイドの実体は、1 $\mu\text{m}$  から 2 $\mu\text{m}$  程度のボイドが一定数密集しているだけです。従って密集しているとはいえ、普通のマクロ的な市販の超音波探傷でみつかるかという、全くみつからないものになります。われわれの所でも、例えば 128 チャンネル程度のフェーズドアレイで見っていますが、ボイドの密集は全く判別できず、母材と全く同じ映像しか出てきません。そういう状況です。

【緒方分科会長代理】 ありがとうございます。

今、ボイドの写真と言われたものを非公開資料で見えています。先ほど言われた白黒画像は、精密探傷でどのように見えたから、ボイドが密集していると判断したかということがよく分かりません。その画像は今は見られないのでしょうか。その対応があると、もう少し分かりやすいのではないかと思います。

【三原 PL】 これは専門的になるので、どの程度ご理解いただけるか分かりません。

従来の探傷と比べて、1 個ボイドがあって、1 個超音波の反射信号が出るといった計測ではありません。分解能をどう見るかという、精密移動したピッチ 1 $\mu\text{m}$  の分解能で、例えばボイドが見えているとは考えていません。例えば精密探傷画像で、縞状の纏まった画像が見えます。この縞状の画像は、同じ場所を何回測っても同じ縞状のものが見えます。そういう意味では、ボイドの密集を反映した、再現性の高い散乱像を見ていると思われる。今までのフェーズドアレイの計測では、1 個の欠陥には対応する 1 個の

音響像が明確に得られるので、欠陥毎の評価を行っています。本装置では微小な多数の欠陥を映像化できる一方で、1対1の対応という形では計測できていないと考えています。

【成瀬分科会長】すみません。

まずは公開のほうに絞ってお願いします。議論は学会の議論的で良かったです。

では、井原先生、いかがでしょうか。

【井原委員】井原から、質問します。事前に質問させていただいていることの補足になります。

まず、現時点で確立された要素技術とはどういうものを具体的に教えてくださいという私からの事前の質問に対して、「クリープボイドの初期検出のための先進技術が確立された」というご回答でした。換言すれば、「ボイド密集を現場で定量的に評価できる超音波装置を開発した」というご回答であったと思います。これは確かに報告書の中にも書かれています。ただ、一般的に考えると、ボイドが密集して、ある程度大きくなると、従来の超音波法あるいはフェーズドアレイを用いても、かなり大きなボイドの密集としてとらえることは可能だと思います。これを踏まえると、今回開発した要素技術とは、従来法ではとらえられなかったボイド密集を新たな手法を用いることでとらえることに成功したということになるかと思えます。しかし、この報告書を見る限りでは、失礼な言い方になりますが、その点のエビデンスが明示されていないように思いました。従来法では計測できなかったボイド密集を今回新たにとらえられることができたというエビデンスを示していただくことは可能でしょうか。もう少し具体的に言うと、特定のサンプルあるいは特定箇所に対して、従来法ではボイドらしきものが見えないのに対して、今回の開発ではこのように見えているといった比較があれば、説得力が上がるのではないかと思います。そういったことはいかがでしょうか。

【三原 PL】既存の超音波探傷法は、フェーズドアレイを含め今のところ、mm オーダー以上の欠陥をみつけるための仕様になっていっていることはご存知の通りです。従って、1 $\mu$ m、2 $\mu$ m のボイドがいくら密集しても、連結してマイクロクラックになる前の損傷は、既存の計測法ではどうしても計測できないという前提でスタートしています。実際、先ほどからご説明している通り、われわれは今、定期検査時の精密画像の位置同定のために、フェーズドアレイについても配管上で走査できるシステムを開発しました。ここで使ったのは 32 チャンネルを 2 個、両側から測るという方法でのフェーズドアレイです。途中経過の中で、同じ場所を 64 チャンネルあるいは 128 チャンネルを使った音響映像も沢山測定しました。これら市販のフェーズドアレイでは、母材部とボイドが密集した HAZ 部での音響像を比べ、幾ら拡大しても損傷による差異が観察できないのですが、われわれは装置の仕様から考えて当然だと思っています。そういう状況の中で、今回、実施したものについてはかなり特殊な装置を使ってはいるものの、差が出ているという意味で言うと、母材は何も出ていないのに対して、HAZ 部のボイドが密集した所だけで散乱信号が明瞭に増加している現象がとらえられています。そういう意味で、間違いなく計測ができていると考えています。その一つのエビデンスがそこに挙げてあるものだと思っています。

【成瀬分科会長】すみません。

議事をとっている都合上、発言者の方が声だけでは分かりません。所属とお名前を言ってから発言をお願いします。

【井原委員】長岡技術科学大学の井原です。三原先生、お答えありがとうございます。

恐らくそうだと私も思っていました。45 ページのこのような粗探傷の音響像と精密探傷の音響像があって、精密探傷ではボイドがあるというふうに明記されています。ただ、これと同じ場所に対して、先ほどお答えいただいたような従来法で実施した場合はボイドが見えないならば、それを前提として記載するのではなく、もし可能であれば、客観的に本当に見えていないということを示すために従来法による結果を明示していただければ、今回の成果は本当に良いものだと分かって説得力が出てくるのではないかと思います。以上です。ありがとうございました。

【三原 PL】井原先生、ありがとうございます。東北大学の三原です。ご指摘ありがとうございます。

今のご指摘の点は、肝に銘じたいと思います。ただ、最後に出てくる精密画像は 1mm 四方の音響像なのですが、分解能の差異をフェーズドアレイで比較する場合、市販のフェーズドアレイでは 1mm 四方の音響像は計測できないので工夫が必要になります。ご指摘いただいたような形で比較できる音響画像を作りたいと思います。ありがとうございました。

【成瀬分科会長】東京電力ホールディングス株式会社の岡部委員、ご質問ください。

【岡部委員】東京電力ホールディングス株式会社の岡部です。

資料 5 で、伝熱管の温度推定の灰付着について、少しコメントをさせていただきたいと思います。

まず、今までの試験で吸熱量のモニタリングをされたのはとても良いアイデアだと思いました。試験タイプでは 5 時間の運転だったかもしれませんが、実機では数カ月の連続運転もあり、必ずクリンカがたくさん付き、無視できない存在です。クリンカの物性は熱伝導率・輻射率等も決まっているわけではなく、場合によるので、さまざまな予測が難しいです。中赤外線カメラ等で灰付着状況を把握しても、熱抵抗値の計算は難航するかもしれないと思いました。クリンカが付く管そのものは、メタル温度が下がるかと思いますが、後段のガス温度が上がるなど、後段に影響があるかと思います。理想的には、クリンカの付着の影響も考慮して、ボイラ全体の吸熱バランスへの影響を評価できるようになってほしいと思いました。以上です。

【名久井 PM】環境部の名久井です。

今の岡部様の質問は、ボイラにクリンカが付いたとしても、それによってボイラ全体の熱バランスが変化することについてもこの解析で温度が予測できるかという質問でよろしいですか。

【岡部委員】そうです。それでも温度予測ができるようになってほしいと思います。

【名久井 PM】それでは、三菱日立パワーシステム株式会社の山内様にご回答していただいても、よろしいでしょうか。

【山内 PL】三菱日立パワーシステム株式会社の山内です。それでは、お答えします。

今回は試験装置ということで、伝熱管パネル 3 枚分の計算しかしておりませんが、実機で展開する場合は、全ての吊り下げ伝熱管を計算するようにしています。従って、スーパーヒーターにクリンカが付いた場合の後流のガス（速度）やガス温度の変化は基本的には計算できると考えています。実際のボイラでの温度計測が合っているかという検証は必要ですが、計算ツールとしては、そういう機能を入れています。

それから、先ほど言われたようにクリンカの物性は非常に難しい話だと、われわれも認識しています。特に炭種によっては多孔質のクリンカになるなど、いろいろと変わります。その辺は実際の温度の計測値とクリンカの付き方等がある程度考慮して、どこかに最適解がないかということを検討していきたいと考えています。よろしいでしょうか。

【岡部委員】ありがとうございます。実機燃焼も予定されているということで、期待しています。

【山内 PL】ご質問ありがとうございました。

【成瀬分科会長】それでは、大谷先生、ご質問ください。

【大谷委員】湘南工科大学の大谷です。

三原先生にお聞きします。早くみつかったのは、非常に素晴らしいことだと思います。見ている領域と組織観察している領域の大きさは対応していますか。

【三原 PL】今回計測した組織観察の領域と音響画像の領域のサイズは、同じでは無いので対応していません。

【大谷委員】大丈夫です。

【三原 PL】前にお見せしたものについては、先ほど言ったように 1 $\mu$ m、2 $\mu$ m 程度のボイドが点在している

という感じになるかと思います。以上です。

【大谷委員】分かりました。湘南工科大学の大谷です。

もう一つ、お聞きしたいのが、これは後方散乱で見ているデータも出ていますか。

【三原 PL】 そのとおりです。

【大谷委員】 後方散乱でしょうか。

【三原 PL】 はい、後方散乱信号の映像化という事になります。

【大谷委員】 その場合に、その領域がなぜこれほど大きな領域に散乱しているかということが分かりません。

ボイドの領域と違うわけです。もう一つ、奥行き方向も違うので、この計測方法の有効体積はどの程度だと先生は考えていますか。

【三原 PL】 ここで見ている音響画像の部分については、多かれ少なかれマイクロボイドが出ているのではないかと考えています。かなり広いエリアになります。

【大谷委員】 そうすると、この密度よりも高い密度ということも関係しませんか。

【三原 PL】 密度はあくまでも単位平米辺りに何個という個数のパラメータで評価しています。どの程度のエリアに広がっているかということについては、また別の因子かと思っています。密集度についてはどのぐらいかというのは、試料断面の組織観察で2次元計測して測ったものです。

【大谷委員】 そうすると、偶然こちらを見たら、1平方ミリメートル当たり 592 個になるかもしれないけれども、見られている領域にはかなり密集しているものがあると考えていいですか。

【相澤主任研究員】 東北発電工業の相澤です。実際に SEM で観察するときには、平米 mm 辺り何個とカウントする前の段階では、1mm ではなく、計測エリアを中心にもっと広い範囲を実際に見ています。一番密集した所の面積として、出したものが 592 個と報告しているとおります。以上です。

【大谷委員】 分かりました。ありがとうございます。湘南工科大学の大谷です。

現在、592 でこの程度になっているというのは分かりました。例えば、これが 900 個あるいは 1200 個、あるいは 300 個で、どのような形で見えるとお考えですか。あるいは今後、どのように検証していくのかということが分かりませんでした。実用化するとき、600 個なら良い、900 個なら良いなどと、実施値から評価をしたいと思います。そういった点は、どのように考えていますか。

【三原 PL】 東北大学の三原です。

定量化できたとはいうものの、大谷先生がご指摘のように、実機と同じような状況で数が変わったときに、どのように見えるのかという点については、今後、詰めなければいけない課題として考えています。例えば、電力の方々のご協力を得て、もう少しバリエーションのあるような試験体や場所で、音響画像がどのように見えるかを確認したいと考えています。ただ、今後音響画像を定量化する観点では、散乱波振幅が映像化できており、映像から散乱波振幅がどの程度かということで評価ができます。さらに映像化において、一定振幅のスレッショールド値以上を映像表示するかを変えることができます。これら、音響画像の計測感度については、まだ向上できる余地が十分にあるので、より初期の損傷までみつけられないかという点についても、われわれは可能性があるのではないかと考えています。今、ご指摘いただいた点は非常に重要だと考えています。以上です。

【大谷委員】 ありがとうございます。私の質問は以上です。

【成瀬分科会長】 ありがとうございます。

議題の 5 の終了時間が来たようです。委員の皆さまの中で、どうしても質問、コメントがあるという方がいましたら、お受けします。よろしいですか。

【緒方分科会長代理】 千葉工業大学の緒方です。

1点コメントと、少し質問も混ざるかもしれませんが、発言させてください。全体の研究開発マネジメントにも関係しますが、5、6年前のニーズとしては、長手の溶接継手配管がたくさんありました。損傷

が優先的に進んでいるということで、長手の継手に対するボイドの検出、探傷のニーズというのはかなり強いものがありました。ただ、それからもう 5、6 年たって、長手継手はほとんど周継手に変わっています。周継手に変わったときに、質問にも書きました応力が半分程度になるということで、解析を行っても今までの長手のように Type IV 損傷が周継手で早期に問題になるということはまず起こらないと予測されます。

他の質問に対して、今後、過酷な運転になるから、周継手でも厳しくなるのではないかと回答がありました。過酷になるのは起動停止で、クリープに対する影響、配管あるいは伝熱管に対する影響はほとんど出てこないと思われます。

周継手の TypeIV 損傷がどの程度問題になって、この研究開発の成果がどのように使われるかということをもう少し、NEDO で実態を調査して取り組むといいのではないかと思います。もし損傷が起これば、システム応力などによって、曲げがかかる場合には確かに周継手でもクリープ損傷、TypeIV 損傷は起こる可能性があります。ただ、その場合はボイドは外表面近傍に集中するので、外表面近傍の場合でも、この手法が適用できるかどうかを検討されたいかがかと思えます。以上です。

【成瀬分科会長】 では、今、コメントということで承ります。どうもありがとうございました。

その他、どうしてもコメントしたい方はありますか。よろしいですか。活発なご議論をありがとうございます。

(非公開セッション)

## 6. 事業の詳細説明 省略

(公開セッション)

## 7. 全体を通しての質疑

【成瀬分科会長】 議題の 7 です。

今度は各論が一部あっても良いと思いますが、NEDO のマネジメント等も含めて、全体を通しての質疑になります。まず、事務局から説明をお願いします。

【川井主査】 先ほど、公開セッションで質疑応答を行っていただきましたが、ここでの質疑の対象は、公開資料か否かを問わずご質問いただき、推進部および実施者の皆さまは回答できる限りにおいてご回答いただければと思います。

【成瀬分科会長】 公開、非公開を問わないということです。では、また申し訳ありませんが、緒方先生から質問、コメントをお願いします。

【緒方分科会長代理】 千葉工業大学の緒方です。よろしくお願いします。

ボイラ解析技術についてです。解析によって精度を良くするという事は、非常に意義があると思います。ただ、ここで特に取り上げているのは伝熱管の寿命診断などで、開発成果をプラス 20℃に抑えるという目標を立てていますが、そもそも伝熱管の温度解析まで行って、取り替えを行うということは、コストとの関係でこれまで行われていないと思います。プラス 30℃からプラス 20℃に変われば、伝熱管の解析がユーザーサイドで使われるという根拠はありますか。これが質問の 1 点目です。

一方、先ほどの負荷変動が激しくなるということで、今まで生じなかった熱応力が肉厚部等に生じると思います。その温度差がどうなるか、熱応力がどの程度発生しそうかという情報は非常に重要だと思います。そういう部分にこの成果を使っていくことも考えられるのではないかと思います。その点はどのように考えていますか。その 2 点について、教えていただけますか。

【山内 PL】 それでは、三菱日立パワーシステムズ株式会社の山内から概略を説明させていただいて、詳細

については三菱重工業株式会社総合研究所の有賀から説明させていただきたいと思います。

まず、温度推定技術は、プラス 30℃の今までの CFD (ボイラ解析の意味) の精度ですと、推定する誤差が数万時間になって、あまり今まで使うことができませんでした。今まではボイドの個数を測って、そこから余寿命を推定して、レプリカを取って、ボイドを見て、それから余寿命を推定して交換するというを行ってきました。その精度がプラスマイナス 10℃程度です。今回、0 プラス 20℃で安全側に精度をとっています。実質的にはプラスマイナス 10℃ということですので、こういった技術ができれば、十分使用に耐える範囲に入ってきていると私どもは考えています。

それから、2 番目の負荷変動については、ご指摘のとおりです。これで運転中の定常状態の温度が分かりますので、負荷が変動したときにどういうふうになるかというのは動特性モデルをこれに組み合わせれば、温度差が分かってきます。そのような使い方を具体的にしていこうと考えています。こちらでよろしいでしょうか。

【緒方分科会長代理】 ありがとうございます。

もう 1 点、ボイド検出システムは、できるだけ細かいものを早期にみつけるということが非常に重要だと思います。ただ、細かいボイドを早期にみつけると、そういうものがあると分かった時点で、果たして大丈夫なのかということが問題になります。例えば、定点モニタリングといっても、定期検査の時にしかできないので、それならば早くからみつけなくても、もう少し後でもいいのではないかという見方もできます。細かいボイドをみつけることは非常に重要ですが、みつけたボイドが使っている間に、どのように変化していくかという予測とセットにならないと余寿命評価が行えないと思います。単に金属材料のボイド成長のマスターカーブがあればいいというものではありません。マスターカーブを実験室で作ろうと思うと、とても大変です。多軸応力をどう考慮するかなど、いろいろなことを考慮しなければいけません。このプロジェクトだけで行うというのは難しいことです。小さいボイドが見えたのであれば、それがどのように成長するかについて解析的な方法も組み合わせて将来を予測する手法を考えるということも検討しても良いかと思いますが、いかがでしょうか。

【三原 PL】 東北大学の三原です。ご指摘ありがとうございます。

このシステムは先ほど言われたように、実機での損傷計測ができることが最大の特徴と考えています。現在も施工後の使用時間で管理し、十分安全に運用されてはいますが、現在実機では非破壊検査が適用できておらず、実際にどの程度損傷して交換するのかが不明で運用していますが、その程度のクリープ損傷が実機での計測できると考えています。先ほどからご指摘があるように、どう定量化するのかについては課題があると思っています。

もう一つは、今、緒方先生からご指摘があったように、研究レベルでクリープ損傷を見ながらモニタリングするという部分で、どのように損傷していくかを動的に見るということにも使えると期待しています。ただ、そういうことを行うためには、先ほどからご指摘があるように、クリープ損傷と音響画像の定量性をさらに検証しながら進める必要があると思っています。両方考えながら、進めていきたいと思っています。ご指摘ありがとうございました。

【緒方分科会長代理】 ありがとうございます。

【成瀬分科会長】 緒方先生、ありがとうございます。続いて、井原先生、  
お願いします。

【井原委員】 長岡技術科学大学の井原です。それでは、一つ、質問します。

今後に向けてということにも関係しますが、今回、検出可能なボイド密集のサイズを定量的に明らかにするということは、これまでもそうですし、これからも非常に重要で、このプロジェクトの中では必須かと思っています。ボイド密集を定量的に測定することに関連して、現状のボイド検出感度は映像化条件を



調整することで大きく向上できると事前の質問に対してお答えいただいています。もし差し支えなければ、映像化条件を変えるというのは、具体的にどのような方策が考えられるのか、教えていただければと思います。

【三原 PL】 分かりました。東北大学の三原です。

先ほどお答えしたのは、受信波形を映像化にどう使うかと言うノウハウになります。基本的には、受信波の焦点位置付近の振幅で最大値を映像化する手順ですが、受信波が計測位置により原理的にばらつくので、映像化の手順によって、映像化の閾値（スレッシュホールド）を制御することで、ボイドが強く反映された音響画像になっています。以上です。

【井原委員】 分かりました。

今、お答えいただいたとおりで、映像化条件、スレッシュホールドを変えてしまうと、場合によっては感度が上がるけれども、一方で、オーバーエスティメーション（ボイド密集ではないものをボイド密集であると誤認すること）ということにもつながるかと思います。今後、最適なスレッシュホールドを決めて、ボイド密集を定量的に的確に検出できるような感度の最適化が必要であろうと、三原先生のお答えからも理解しました。引き続き、よろしくお願いします。以上です。

【成瀬分科会長】 よろしいでしょうか。それでは、大谷先生、お願いします。

【大谷委員】 三原先生にお聞きします。

この場合、ストレート管のような所に溶接されていることを模擬して行われています。伝熱管はそれでいいと思いますが、これをいろいろな所に使う場合、管寄せ部でも行う可能性はありますか。そういう所で行うことはできますか。あるいは曲がっている所やエルボーのような所に、この技術は適用可能ですか。

【相澤主任研究員】 東北発電工業株式会社の相澤です。

今回作った装置は、計測する領域がとても小さいため、位置精度を確保するために剛性が高いレールを配管に組み付けて計測するというものです。

対象としている配管は直径が 80cm、90cm、1m など、大きいものになります。さらにここでは、集束性を向上するため大口径のとても大きな音響レンズを使っているので、細い管は計測対象にしていません。

従って、伝熱管のようなものは計測できないと考えています。

公開資料の 43 ページの装置は直管の部分の周溶接ですが、屈曲部になると片側が曲がってきます。ユーザーのニーズ次第ですが、その部分の動きを形状に合わせるような機構に改良するという対応は技術的には可能ではないかと考えています。以上です。

【大谷委員】 あともう一つ、いいですか。

外販する場合、どのぐらいの価格で売ることを考えていますか。

【相澤主任研究員】 東北発電工業株式会社の相澤です。

装置を売るとは、現在全く想定していません。本計測のニーズは、基本的に対象が電力さんですから、電力の業務を弊社が受注して計測業務を行うという想定で開発しています。この装置を売るとは現時点では想定していません。以上です。

【大谷委員】 ありがとうございます。

【成瀬分科会長】 ありがとうございます。それでは、岡部委員、お願いします。

【岡部委員】 資料 5 の 17 ページ、NEDO の事業としての妥当性という部分についてです。

緒方先生がご質問されていましたが、運転時間を基に約 15 年で全交換をされているというのは、皆、行っているのでしょうか。運転中の高クロム鋼だけ特殊な配慮がされているのではないかと思います。そこで漏えい事故があって、あとから許容応力を引き下げたので、高クロム鋼の許容応力を超えてしま

っているところでは1回だけ約15年交換するけれども、交換後は許容応力を満足する配管にするので、2回目の交換はないか、あっても15年より相当長いというのが本当ではないかと思います。ここに1プラント当たり100億円の削減効果とある試算は、再検討されたほうがよいのではないかと思います。以上です。

**【名久井PM】** NEDO環境部の名久井です。ご質問ありがとうございました。

運転時間15年で全交換というのは、ある発電プラントの実績を基に、ここで記載させていただきました。15年もその試算を基にしました。ただプラントの寿命の延長がどの程度という実績は、こちらでも把握できていません。今回は単純計算でこのように試算しました。この件について、補足があれば、東北発電工業株式会社の相澤様、よろしいですか。

**【相澤主任研究員】** 東北発電工業株式会社の相澤です。

われわれのほうでも、全電力さんからのアンケート等の情報を得ていたわけではありません。名久井様の発言のように、一部の情報を基にしています。交換する場合があれば、このようなことで試算できるのではないかと考えて算出したものです。追加がなくて、すみません。以上です。

**【岡部委員】** 一部の情報で、このような試算になっている現状ということだと分かりました。

**【成瀬分科会長】** ありがとうございます。私からも発言します。

全体のコメントです。微粉炭燃焼ボイラの全体のシステムに関して、今回、前半の温度測定はこちら、後半のボイラ測定はこちらと示してもらおうと、われわれとしては分かりやすかったと思います。最初は勘違いをして、後半の超音波測定を伝熱管に適用するのかわかたら、後流の蒸気化の所だと理解しました。報告書を書かれるのか分かりませんが、せっかく二つのプロジェクトが有機的につながって実行されたので、まず全体感があって、このような個別だという見え方でお願いしたいということが私からのコメントです。

時間になりましたので、議題7を閉じさせていただいて、続いて議題の8、まとめ・講評です。

## 8. まとめ・講評

**【成瀬分科会長】** 今度は岡部委員からになります。連続で恐縮ですが、岡部委員から講評をお願いします。

**【岡部委員】** 東京電力ホールディングス株式会社の岡部です。講評を申し上げます。

昨今、世界的な逆風で石炭火力の研究を行っている方は、私たちもそうですが、進めにくくなっているのではないかと思います。日本の中では、原子力発電所が長い間、停止していて、石炭火力が屋台骨になっています。発展途上国のことを考えても、これから数十年は石炭火力に頼ることになります。NEDOさまのような組織は長期的な視野をもって、今後も石炭火力の研究にお力を貸していただきたいと思います。

1件ずつの研究については、伝熱管の温度推定技術については、他の方のご指摘にもありましたが、目標精度+20度といわず、クリープと寿命について考えれば、より精度向上を目指していただきたいと思います。灰付着の考慮等、実機対応での課題があるかと思いますが、技術が向上すれば、運転、補修、改造、建設や設計などで計画する際に非常に役立つと思います。実機実証試験を予定しているということで、今後に期待したいと思います。また、井原先生がご指摘されてしまいましたが、ノウハウを公開せず秘匿されているという件について、ぜひ公開について検討いただきたいと思います。

クリープボイド研究システムについては、大谷先生もご指摘されていましたが、マスターカーブを定量化するという点でかなり課題があると思っています。余寿命評価に使用すると、まだ課題が多く、今後も息の長い研究が必要だと思っています。また、曲管など、それを付けられない所がまだあるので、現場施工に関する課題があると思います。改造などでより多くの現場に適用できるように期待したいと思います。非破壊検査における要素技術の向上という点で、有用な検証だと思っています。

どちらの研究も有望だと思いますので、これからもがんばってください。以上です。

【成瀬分科会長】 ありがとうございます。それでは、大谷先生、お願いします。

【大谷委員】 きょうはお話を聞かせていただいて、大変勉強になりました。そして、一生懸命取り組んでいるとも感じました。例えばクリープボイドにしても、評価は三原先生の所だけで終わらないことになると思います。電力など全てが一緒にならないと最終的な、あるいは9Crあるいは12Cr、その次のUSCのようなものに対しても使える技術だと思います。最終的にクリープボイドを評価するという意味で言うと、今回の研究は大きな流れの最初の評価で、最終になる技術を開発していただいたということでは有意義だと思います。以上です。

【成瀬分科会長】 ありがとうございます。それでは、井原先生、いかがでしょうか。

【井原委員】 長岡技術科学大学の井原です。

それでは、私から一言コメントします。クリープボイドの初期検出のための点検技術は重要な課題です。現時点ではボイド密集を現場で定量的に評価できる「可能性がある」という表現が適切かもしれませんが、そういった超音波計測装置を開発されているということは、非常に高く評価できると思います。この成果の実用化、事業化という観点では、当該開発システムをUSC、石炭火力発電プラントに適用して、ここで開発した技術の検証を重ねていき、評価の定量性と信頼性をさらに高めることが非常に重要かつ必須かと思えます。今後はぜひ、その点に注力していただければと思います。

それから、もう一つの目標として、クリープボイドの検出結果を、いかに当該プラントの余寿命評価に結び付けられるかということがあります。すなわち、いかに余寿命評価手法を具体的に実現するか、実用化できるかということが重要になるかと思えます。研究期間内にこの目標を達成するために、技術的なロードマップのようなものを少し示していただき、研究を遂行していただければと思いますし、強く期待しています。以上です。ありがとうございました。

【成瀬分科会長】 ありがとうございます。続いて、緒方先生、お願いします。

【緒方分科会長代理】 千葉工業大学の緒方です。今日はご説明ありがとうございました。

皆さんがご指摘しているように、この二つのテーマ、温度計測精度の向上、ボイド検出精度の向上は石炭火力においてはニーズの高い問題です。かなり厳しい目標を設定しながら、中間の時点である程度、目標を達成できているということは、実施者のかたがたがかなり苦労して取り組んできたのではないかと思います。その努力には敬意を表したいと思えます。あえてコメントさせていただくと、先ほど申し上げましたように、外部の状況、電力での状況が5、6年前とだいぶ変わってきています。それでニーズがなくなったということではありませんが、もう一度、温度推定やボイド検出精度の向上ということが、ユーザーサイドのどういうニーズに対応するのかを再調査される必要があるのではないかと思います。配管は長手だけではなく、周継手が主流になってきています。それでも、管台あるいは超音波プラグ、ニップルなどというのは、長手に相当する溶接線があります。それらの部位では、クリープボイドに対して、長手と同じような問題が起こってきます。管だけではなく、管台にも適用できるような計測方法を考えていくなど、今の対応を広げていくというのも一つの方法ではないかと思います。

個別に申し上げますと、温度推定精度の向上は、確かに意義があることですが、誤差が10℃縮まったからといって、直ちにユーザーサイドで伝熱管の寿命評価でそれを使うということになるかというのは、少し疑問があります。あえて宣伝をするというか、きちんとユーザーサイドにコストの面などのメリットをきちんと説明することによって実用化につながっていくのではないかと思います。その中で、温度解析だけではなく、熱応力や損傷解析も行うということになれば、なおさらニーズが広がっていく可能性はあるのではないかと考えています。

ボイド検出については、先ほど申し上げたように、周継手配管に対するニーズはかなり減ってくると思いますが、それ以外の部分もあるので、その辺を検査するためにはどうしたらいいか、実機適用をどう

すればいいかということがあります。そして、今はまだ単に一つの使用配管を検査しただけです。この検査結果で、目標を達成しているかどうかという話になっていますが、溶接継手、開先形状や肉厚、溶接法も含めて、いろいろな要素があります。これらに対して、どの程度の精度で検出できるかというデータを積み上げていくことが重要です。それはこのプロジェクトの中だけで行っても、廃却材が手に入るかなど、そういうサンプルを計測する機会はなかなか難しいと思います。配管の溶接部の損傷評価を扱っている学協会、例えば材料学会の高温強度部門委員会があり、電力でいうと電気事業連合会などにも委員会が設置されています。どのようにアプローチしていくのかについては検討する必要があると思いますが、そういう委員会などでサンプルを入手するなりして、計測した結果を示していくことで、結果のアピールや専門家から見た評価、ユーザーサイドのニーズをもっと把握していくということも可能になっていくのではないかと思います。先ほども話が出ましたが、もう少し広く活動していただくことをお願いしたいと思います。いずれにしても、ニーズは必ずあると思いますので、早く結果が得られることを期待しています。以上です。

**【成瀬分科会長】** ありがとうございます。それでは、最後、私、成瀬から講評させていただきます。

東京電力ホールディングス株式会社の岡部委員が言われたように、なかなか石炭火力は国内外で非常に厳しい状況にあります。金融業界もなかなか支援をしていただけないという新聞記事がありました。

少し違う観点から見ると、日本は高かろう良かろう、良いけれど高いという技術です。それが悪いわけではありません。一方、某国のように安かろう悪かろう、安いから少し悪くてもいい、壊れたら取り替えればよいという発想もあります。できるかどうかは別として、安かろう良かろうというのが、本当はベストです。そのときの切り口として、設備コストは高いけれど、維持管理は安いという売り方もできるでしょう。設備は安くできるけれども、維持管理で儲けさせてもらうといった考え方など、いろいろな考え方があります。

1000MW級は少しきついかもしれませんが、ボイラのパッケージ化をして、パネルで付けて、パネルはリサイクルするといったときに、今回の探傷や温度測定でもっと安い部材が使えるといった波及効果もいろいろあるような気がします。もちろん探傷の場合は、微粉炭ボイラだけでなく、いろいろな分野に応用することができます。ぜひ、少し分野を広げて、この事業を拡大していただきたいと感じています。

それでは、皆さんから講評をいただきました。講評を受けて、推進部長、プロジェクトリーダーから一言ずつお願いします。では、推進部長、お願いします。

**【田中部長】** NEDO 環境部長の田中です。本日は、委員の先生がたにおかれましては、さまざまな点からご指摘をいただきまして、誠にありがとうございます。なかなかやりにくい環境の中、ご協力いただいたことをあらためて感謝します。

このプロジェクトは、最初にプロジェクトマネージャーの名久井からも説明させていただきましたが、6年のプロジェクトです。そのうち3年が終わったので、今回の評価となったという位置付けです。今後どうするか、現在検討している状況です。このタイミングで、いろいろな観点からご意見をいただき、非常にありがたいと思っています。

特に石炭に対する厳しい状況ということもコメントがありました。われわれもちろん、それは感じています。今回のような技術開発は引き続き、ニーズがある分野ではないかと考えています。そのニーズ自体も、少し時代とともに変化していくのではないかとご指摘もありました。それは全くそのとおりだと思います。われわれとしては、このプロジェクトはニーズを踏まえながら、最終的にはこのプロジェクトの最終目標を6年目に達成して、さらにはその先の実用化に向けて進めていくということになります。ニーズもつかみながら、どのようにしたら実用化できるのかも常に意識しています。広い視点でというご指摘もいただきましたが、われわれとしてもそのように事業者の皆さまがたとともに検討して、実用化に一歩でも近づいて、成果になるようにしっかりマネジメントしていきたいと考えています。本

日は貴重なご意見をいただき、誠にありがとうございました。以上です。

【成瀬分科会長】 ありがとうございます。それでは、三原プロジェクトリーダー、お願いします。

【三原 PL】 きょうは、いろいろな観点から、今後進めていく上で、非常に有益なご指示やご指摘がありました。われわれとしても、作った技術の方向やどのように使うか、もしくは現状がどうなっているかといったことについては、電力各関係との連携がどの程度とれるかが重要だと考えています。ご指摘の点を踏まえて、継続していきたいと思います。きょうはありがとうございました。

【成瀬分科会長】 それでは、三菱日立パワーシステムズ株式会社の山内さん、お願いします。

【山内 PL】 三菱日立パワーシステムズ株式会社の山内です。

きょうはこのような機会でご評価をいただき、ありがとうございました。当社としても、石炭火力に逆風が吹いていて、非常に大変です。先ほどご紹介があったように、石炭火力自体は途上国で必要ですし、今後、国内でも負荷変動火力としての一面を担って来るとも考えています。その場合に、トラブルを事前に予測する重要な手段として、今回、開発をしていただいた温度推定技術というものは必ず役に立つと信じています。この技術を必ず実用化したいとわれわれも考えておりますので、今後ともご指導、ご鞭撻、よろしくお願ひしたいと思ひます。以上です。

【成瀬分科会長】 ありがとうございました。

## 9. 今後の予定

## 10. 閉会

## 配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	評価スケジュール

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

資料番号 ・質問箇所	質問の内容	回答	委員氏名
資料5 22 ページ	温度の定義を明確にして頂きたい。蒸気温度、あるいは、伝熱管表面温度等。	温度の定義は伝熱管表面温度になります。	成瀬一郎
資料5 26 ページ	今回は、中間評価であるものと考えているが、何故、余寿命・故障予兆診断技術開発が公募中になっているのか？当該プロジェクトとの関係性が理解できない。	「石炭火力の負荷変動対応技術開発」は6年間のプロジェクトであり、3年目が終了した時点で当該プロジェクトの中間評価を受けています。余寿命・故障予兆診断技術開発は、当該プロジェクトの基本計画に則り実施しているものです。前半3年間の技術開発成果の一部は実用化を目指します(p55)。一方、新たな課題については後半3年間の技術開発で解決し、最終目標である先進的な余寿命・故障予兆診断技術の見通しを得ます(p48)。	成瀬一郎
資料5 36 ページ	クリープボイドの密度の単位について、円管を対象としているので、mm <sup>2</sup> を平面の面積として考えてよいか。あるいは、円周面の面積なのか。	平面の面積として考えています。計測対象の配管は円筒ではありますが、直径800mm程度の大径管です。これに対し精密探傷の計測範囲は1mm四方のため、平面の面積として扱っています。	成瀬一郎
資料5 53 ページ	特許に「基本特許」という種類はないと思うが如何か。	ご指摘の通り、「基本特許」という種類はありません。当該特許は実施者が本プロジェクト前に出願していたものです。本プロジェクトは当該特許技	成瀬一郎

		<p>術をベースに実機火力発電設備用装置を開発するものです。本プロジェクトにとっては基本となる特許であることから便宜的にそのように標記しました。</p>	
<p>17 資料 5 P23 2. 研究開発マネジメント</p>	<p>USC プラントの高温蒸気配管における Type IV 損傷の検知と評価は、電力各社において重要な課題とされており、溶接部でのクリープ損傷検出の精度向上は保守の信頼性確保という観点から意義は大きいと考えます。質問者のこれまでの TypeIV に関する研究からの理解と異なる点がありますので、以下についてご教示ください。</p> <p>(1) P25 に示されている図に余寿命消費率のイメージが記載されていますが、図中の%は何を根拠に記載されたのでしょうか。これまで実施した内圧クリープ継手管や実機廃却継手配管の観察結果あるいは関連する文献からは、寿命末期(90%程度)でもボイド個数密度は 800～900 個/mm<sup>2</sup> であり、その後急激に微小き裂形成と伝ばにより破断することが示唆されています。このような結果からは、目標とされている 900 個/mm<sup>2</sup> は、寿命末期での検出となり、研究開発の意義が大きいとは言えないのではないのでしょうか。(P23 の 900 個/mm<sup>2</sup> = クリ</p>	<p>(1) 今回我々が模擬試験体として用いたのは、電力会社が石炭火力発電所で、前述の通り規定された使用時間を運転して、全交換した配管のうち、熱履歴等から損傷が進んでいると推測された配管部位となります。この試験体の選択は、開発する計測装置の計測目標ともなるもので、最重要なため実験室でのクリープ試験ではなく実機使用済み配管を特にお願ひして使ったものです。前述の通り、現在火力発電における部材の保守は、非破壊検査法が無いため、きわめて安全側に運用されており、今回交換した配管の中でも損傷が進んでいると考えられる溶接部を切断し、組織観察した結果、会合部と呼ばれるクリープ損傷が先行すると予想される場所で、予測通り最大の 900 個/mm<sup>2</sup> 程度のクリープボイドが観察されました。ご指摘では、ボイド個数密度は 800～900 個/mm<sup>2</sup> はクリープ末期とのことですが、少なくとも本部材につきましては、関係各位により、クリープ損傷初期段階であると判断できる部材になります。観察時のエッチングやその他の条件は異なります</p>	<p>緒方隆志</p>



	<p>ープ損傷率 35～50%の根拠を教えてください)</p> <p>(2) P45 に成果として、“592 個/mm<sup>2</sup> のクリープボイドの有無を識別した”とありますが、ボイドの観察結果との対応を示していただけますか。改良 9Cr 鋼溶接熱影響部に発生するボイドの計測結果は、研磨、腐食、観察方法、計測者など種々の要因の影響を受けます。また、ボイドは 3 次元に空間的に分布するため、超音波での計測結果と 2 次元の観察位置を対応させるのは難しいように思われますが、超音波計測結果の何をもって 592 個/mm<sup>2</sup> のボイド個数密度と判断したのでしょうか。超音波の計測結果とボイド個数密度を定量的に関係づけることができるのでしょうか。</p> <p>(3) 実機配管の計測では、肉盛りを削除することは困難ですが、これまでの研究では、溶接部の肉盛りの存在により超音波検出精度が低下するとの報告があります。P44 左下の超音波計測のポンチ絵では溶接部表面に肉盛りがあるようですが、P45 の試験体では肉盛りが存在しません。肉盛りが存在する場合でも同様な精度での検出が可能なのでしょうか。</p>	<p>ので、詳細の比較は出来かねますが、ここで用いた電力会社の配管交換部材は極めて標準的な交換部材とお聞きしており、クリープ初期損傷試験体と認識しています。</p> <p>それと 35～50%の根拠についてですが、必ずしも明確なものではありません。我々はクリープ損傷の専門家では無い中、今回マイクロクラックの非破壊検査法開発を目指すので、マイクロクラック段階を含め、クリープ破断を 100%としたクリープ寿命の指標が求められました。しかし電力関係者の方々にお聞きすると、基本的なき裂（マイクロクラック）発生を 100%として考えるので、上記のスケールは分からないとの回答でした。重ねて、あえてクリープ破断を 100%とした、現状のマイクロボイド密集の損傷度をお聞きすると、およそ 35%から 50%程度の運用ではないかとの回答を得ました。そのため、マイクロボイド密集を最大 50%として損傷度を振ったものです。正確な指標ではない点、ご容赦ください。</p> <p>(2) ご指摘のとおり、本計測方法の定量化は今後の課題であると認識しております。592 個/mm<sup>2</sup> のクリープボイドは、SEM での実測から求めたものです。本計測方法は、クリープボイドの密集の有無</p>	
--	--	---	--

		<p>を識別するものです。クリープポイドは 3 次元に空間的に分布しますが，低合金鋼などで用いられているレプリカ法でクリープポイドの面積率等を評価する際も 2 次元でポイドの有無を判断しており，本開発方法でもクリープポイドの密集の有無が識別できれば，これまで非破壊検査が保守に用いられていない現状を大きく前進させるものであると考えています。今後の課題と考える定量評価には，クリープポイドの密集程度の異なる多くのサンプルが必要となるため，ユーザーの協力を求めながら定量評価に向けた取り組みを進めていきたいと考えています。</p> <p>(3) 開発装置は，余盛りが存在する状況を想定し，計測可能な装置開発をしています。さらに本計測では超音波が溶接金属内を伝搬すると評価に影響がでるため，溶接金属を避け計測位置まで母材のみを超音波が伝搬する様に入射させなくてはなりません。45 ページの試験体は本計測の為に余盛りを削除したのではなく，計測時も余盛りがあった部分（溶接金属）を避けて計測しています。</p>	
<p>資料 5 P59 4. 成果の実用化・事業化</p>	<p>(1) P59 の最初の矢印に“余寿命評価法として確立させて”とありますが、確立される余寿命評価法とはどのような方法なのでしょうか。本</p>	<p>(1) 本開発手法では，今後，検出するクリープポイドの密集程度の定量的な評価が課題であると考えております。一方、これまで非破壊計測の手段が</p>	<p>緒方隆志</p>

	<p>検出システムが実用化された場合に、ボイド個数密度の検出精度の改善は期待されますが、その結果が余寿命評価にどのように結びつくのでしょうか。余寿命を評価するためには、検出されたボイド個数密度が、その後の使用でどのように変化して、寿命に至るのかを正確に予測する必要がありますが、そのような評価法が確立されるということでしょうか。</p> <p>(2) P45 に掲載されている試験体は、長手溶接継手のように見受けられますが、実機配管の周溶接継手に対して、このような多くのボイドが既に検出されているのでしょうか。長手溶接に比べて熱影響部に対する垂直応力が小さい(半分程度)周溶接継手に対して、ボイド検出のニーズがどの程度存在するのでしょうか。顕著なニーズがある場合に、本システムが電力各社等で活用されるためにどのようなアプローチがとられ、その結果どの程度活用される見通しがあるのでしょうか。</p>	<p>なかったクリープボイド計測法を開発できたことで、例えば実機火力発電機器でも、なお課題はありますが、音響計測でボイド個数密度が計測できる可能性が示せたことで、定期検査ごとに定点モニタリングの道が開けたと考えています。今後実機で詳細なデータ取得が可能になると考えられますし、さらに大型クリープ試験に本計測を持ち込めば、実験室的なクリープ損傷のより詳細な観察も期待できると考えており、広範に利用頂くことで多くの知見が蓄積できるのではないかと期待しています。</p> <p>ご指摘の通り余寿命の評価には、ボイド密度がパラメータとして妥当かどうか、なお検証の必要がありますし、定量化のためには検討すべき点も多いと認識しています。余寿命非破壊評価法の確立には、計測側以上に材料側から余寿命と組織パラメータの関係を検討頂くことが重要と考えており、広範な連携を今後ぜひ期待したいと考えております。</p> <p>(2) ご指摘のとおり、当該試験体は長手溶接継手です。周溶接継手のクリープボイドを内包する試験体は保有しておりません。周溶接継手では、ユーザーでも長手溶接継手の様にリプレース後に溶接部の切断・観察等の追跡調査はしていないと</p>	
--	--	--	--

		<p>聞いていますが、今後運転条件の過酷化に伴って、長手溶接継手と同様、周溶接継手でもクリープボイドは発生する可能性が高いと考えております。また、周溶接継手の応力もご指摘のとおりですが、前述のように構造上の荷重もあり、想定した運転時間での交換が適正かどうかの判断が難しい状況は、今後も容易に想像されます。こちらも一定のデータの蓄積は不可欠ではありますが、実機でクリープ損傷が評価可能な非破壊検査法は、客観的なパラメータとして少なからずニーズを有すると考えています。また重要な社会基盤の一つである電力を供給する電力各社の重い責任を考えると、電力の安定供給と経済性のバランスをとるため、検査結果を用いた合理的な保守運用には、十分なニーズがあるものと考えております。</p>	
<p>資料5</p>	<p>研究開発成果についての質問          (1) 伝熱管の温度推定技術について          ・ p.40          加熱部最高温度の推定誤差は0～+20℃とのことですが、これは数値解析結果が常に真値より高めに推定されることを意味していると思われれます。この理解で正しいでしょうか？          その場合、このように推定誤差を結論付けたことの根拠となる結果を示してください。資料5</p>	<p>伝熱管は高温部ほど噴破リスクが大きくなるため、最高温度の予測精度を目標値として設定しました。また、解析誤差は(CFD解析値－実測値)で定義しました。          従いまして、今回の実測値の中で最高温度となった部位の真値に対して、数値解析が0～+20℃の範囲で予測できることを確認しました。</p>	<p>井原郁夫</p>

	<p>の p 40 の結果を見る限り、数値解析値は実測値に比べて高い場合と低い場合があり、誤差がプラス側だけに振れると考えるのは不可解です。</p>		
資料 5	<p>・ p.53            数値解析による温度推定技術は顕現性が低いために特許出願しないとのことですが、その妥当性がよく理解できません。顕現性の意味も含めて特許出願しない理由を具体的にご説明ください。</p> <p>また、石炭火力発電のインフラ輸出を踏まえると、国際特許出願も視野に入れて然るべきと考えますが、あえて特許出願しない理由は何でしょうか。NEDO 事業の成果の実用化・事業化の観点からも特許出願を念頭におくべきと考えます。</p>	<p>今回の研究で使用している <b>Fluent</b> は商用流体解析ソフトですが、燃焼モデルや伝熱モデルなどは弊社独自のモデルを組み入れております。また、火炉側の燃焼・熱流動解析と蒸気系との連成解析は弊社独自の手法で行っております。特許化にはこれらの数値解析のノウハウを開示する必要がありますので、なるべく控えたいと考えております。</p> <p>また、仮に他社（他国）が本特許を使用して特許侵害した場合に、数値解析による推定技術については特許侵害の証拠を押さえることが困難な（顕現性が低い）ため、特許出願は控えました。</p>	井原郁夫
資料 5	<p>(2) クリープボイド初期検出システムの開発について</p> <p>・ p.36            ミクロンオーダーのボイド検出目標として 900 個/mm<sup>2</sup> を挙げていますが、そのように設定した理由を具体的に教えてください。</p>	<p>本研究で開発目標としたのは、現在電力会社で実施されている実機火力発電機器の保守において、部材交換される程度のクリープ初期損傷の評価です。しかしクリープ損傷の実験室的模擬や加速試験は、実機損傷と異なる事例も多く、実際の交換廃材を試験体に用いました。我々が入手した実機廃却材の中で最もクリープボイドが密集、つまりクリープ損傷が進んだ状態まで使用されたもの</p>	井原郁夫

		が、切断後、2次元断面観察の結果 900 個/mm <sup>2</sup> であったため、最低限の検出目標として設定したものです。	
資料 5	<p>・ p.36</p> <p>検出時間 20 分を目標としていますが、そのように設定した理由は何でしょうか？</p> <p>また、成果として検出時間を短縮できたのですが、そのベースとなる当初の検出時間を 60 分としていますが、この 60 分とは何の時間なのかを示して下さい。</p>	<p>当初目標とした“検出時間”の 20 分は、1 mm x 1 mm の範囲の精密探傷音響像を取得するための計測時間です。本計測が想定する定期点検での定点モニタリングのためには、全溶接部をフェーズドアレイで計測してクリープ損傷が先行する“会合部”を同定後、粗探傷音響像で定量モニタリングする場所をさらに絞り込み、ボイド発生想定領域（HAZ 細粒）と母材部の 2 か所で上記精密探傷を行います。実際の計測個所は、ユーザーの指定で行うことを想定していますが、基本配管周溶接を 90 度ごとに 4 か所計測を想定しています。発電所の定期検査での実計測を想定した場合、計測前の段取り、準備、計測後の撤収等まで含め、1 か所の周溶接を 1 日で完了するためには、検出時間を 20 分程度とする必要があると考え、目標として設定したものです。60 分も精密探傷音響像の計測時間です。</p>	井原郁夫
資料 5	<p>・ p.47</p> <p>従来法では mm オーダーの欠陥検出を目標として開発されていたのに対して、今回はマイクロオーダーのボイド密集を現場で定量的に評</p>	<p>市販の超音波フェーズドアレイ（PA）は、すべて巨視的き裂などの計測を目的とした仕様で設計されており、得られる探傷画像は例えば XY で 1mm ピッチ程の 500 画素程度の画像に留めること</p>	井原郁夫

	<p>価できることを世界で初めて成功したと結論付けています。ところで、592個/mm<sup>2</sup>のボイド密集（この密集部の大きさは1mm程度）は、mmオーダーの欠陥と同等の大きさと考えても良いと思われます。これを踏まえると、このたびの研究成果の欠陥検出能力は、現実には、従来法によるmmオーダーの欠陥検出能力とほぼ同等と考えるのが妥当であるように思われます。すなわち、592個/mm<sup>2</sup>のボイド密集であれば、従来のフェイズドアレイ装置でも検出可能ではないかと思われませんが、いかがでしょうか？</p> <p>このたびの成果の優位性を客観的に示すには、同じクリープボイド試験片に対して市販の最先端のフェイズドアレイ装置による検出結果との比較検証が不可欠であると考えます。これを明記することは本研究成果が従来技術と比べて優れていることを示す上で必須であると考えます。</p>	<p>で計測の汎用性を得ています。従ってPAは、従来5mm程度の疲労き裂等の評価で多用されてきたのに対し、本研究で計測対象とするクリープ初期損傷はφ数μm程度のクリープボイドで、市販のフェイズドアレイの最小分解能（1mm）の1/1000レベルの小欠陥です。ボイドが密集したとしても、実際のボイドの密集密度は連続した欠陥には程遠い極めて軽微な損傷であり、クリープ損傷が進行してサブmm程度の連続した欠陥（マクロクラックに近い形態）にはならないと、原理的にPAで計測することはできないと考えております。本研究でも、現在火力発電設備の定期点検で使われるレベルのフェイズドアレイを新規に開発し、位置同定用に配管全周溶接部で音響画像を取得するため、探傷性の差異については改めて確認しております。ご指摘の“最先端のフェイズドアレイ装置”がどの程度を想定されるかにもよりますが、工業用途の市販品ではサブmm程度の連続した欠陥が評価できる場合もある程度と認識しています。</p>	
<p>資料5</p>	<p>・ p.53 クリープボイド初期検出システムの開発に関して、基本特許「超音波を用いた経年損傷火力発電・・・」が2016年に出願済みであると</p>	<p>そのご理解の通りです。 当該特許は実施者が本プロジェクト前に出願していたものです。本プロジェクトは当該特許技術をベースに実機火力発電設備用装置を開発するもの</p>	<p>井原郁夫</p>

	<p>のことですが、そうであれば今回の成果に繋がった基本技術は本事業によるものではなく、当該先願特許に記載の過去の技術によるものと解釈できますが、その理解でよろしいでしょうか。</p>	<p>です。本プロジェクトにとっては基本となる特許であることから便宜的に「知的財産権等の確保に向けた取組」のページに記載しました。</p>	
資料 5	<p>・ p.53</p> <p>また、上記に関して、そのような既出願の基本特許の有無にかかわらず、NEDO 事業の成果の実用化・事業化の観点から、このたびの成果に関わる特許出願は重要であると思われます。このたびの成果は、ミクロンオーダーのボイド密集を現場で定量的に評価できることを世界で初めて成功したとのことですので、特許出願すべき新規な技術やアイデアが含まれていると考えるのが自然であろうと思います。逆に言えば、特段の新規アイデアや工夫なくして世界初の試みに成功したという事でしょうか。これについてコメントをいただければと思います。</p>	<p>φ数 μm のクリープボイド密集を検出する基本的な技術に関しては、本 NEDO 事業以前に行った我々の予備研究で行い特許申請しております。計測は、水浸映像法を計測手法として用い予備研究は、研究室での計測です。最も重要な点は、計測分解能に比べて長波長の低周波数で深部の微視組織を評価するため、開口角の大きい非球面探触子を用いて集束性を極限まで高めた斜角集束探触子と、映像化のための探触子の走査ピッチを、市販映像化装置の仕様より 2 桁微細にできるシステムを組み合わせたことが特徴です。本 NEDO 事業では、その計測手法のそれぞれの要素技術をさらに高め、火力発電のクリープ損傷評価装置として、現場で計測できる装置を世界で初めて開発したものです。現場計測のために、さまざまな工夫を行ったことはご指摘のとおりです。今後、弁理士等とそれぞれの工夫について、確認を進めたいと思います。</p>	井原郁夫
資料 5	<p>・ 中間目標に照らして、現時点で確立された要素技術とは何かを改めて明記してください。こ</p>	<p>中間目標（2020 年度）は、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</p>	井原郁夫



	<p>れは今後の事業化に向けた取組みを展開する上においても重要ですので、具体的なポイントに絞り明記していただければと思います。</p> <p>以上です。</p>	<p>析等の要素技術を確立することです。現時点で確立された要素技術は2つあります。</p> <p>1つ目は「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管温度を推定するための解析技術」です。推定誤差を 20℃以内に小さくしました。</p> <p>2つ目は「クリープボイド初期検出のためのセンシング技術」です。ボイド密集を現場で定量的に評価できる超音波計測装置を開発しました。</p>	
資料 5	<p>日本の技術を採用したプラント価格は他国のプラントにくらべ高価であり、他国のプラントの稼働率は低いとあるが、本研究の技術を導入した結果、どの程度の競争力が向上し、他国の稼働率は向上するのか？本研究の貢献度はどの程度と予測されているのか？</p>	<p>p7にある通り、日本と途上国では稼働率に数～10ポイントの差があります。日本の保守・運用技術の導入により、この程度の稼働率向上が見込まれます。</p> <p>また、p10にある通り、途上国への USC 拡大により中国だけでも約 12 億 t の CO2 削減効果が期待されます。</p> <p>経済効果については、p9にある通り、効率向上と稼働率向上、補修費削減で最大 20 百万ドルのユーザメリットも期待されます。</p>	大谷俊博
資料 5 P37-38	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験における連続燃焼時間とクリンカ付着量の変動について、分かる範囲でご教示下さい。</li> <li>・過熱器管等のメタル温度は、表面に付着するクリンカの有無や量による変動が大きいと思います。クリンカ付着量の推移から、実機メタ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験の連続燃焼時間は約 5 時間となります。試験時間が短いため伝熱管への灰付着は極僅かですが、ご指摘の通り灰付着によって伝熱管表面の熱境界条件が変化します（熱抵抗等の変化）。今回の計算では伝熱管の吸熱量をモニタリングし、解析値と合致するよう伝熱管表面の熱境界条件へと反</li> </ul>	岡部治美

	<p>ル温度への影響を推定し、計算に反映すべきと考えますが、そのような手法は取り入れていらっしゃるのでしょうか。また、まだなのでしたら、ご検討の予定はありますでしょうか。</p>	<p>映しております。吸熱量データは実機にでも取得可能ですので、実機でも同様の手法を適用できると考えております。</p> <p>・また、次のステップとしまして、実機実証を予定しております。実機では伝熱管へのクリンカ付着が想定されますので、中赤外カメラを使用してクリンカ付着の有無や量を計測し、数値解析への反映を検討する予定です。</p>	
<p>資料 5 P39</p>	<p>メタル温度推定の際、熱伝達率は一定あるいは各部で変えるなど、どのような条件としているのでしょうか。水・湿り蒸気・過熱蒸気・空気など内部流体の状態の違いや、内面スケール・外面クリンカの性状や付着分布の状況によって熱伝達率が異なると思いますが、メタル温度推定への影響は、どの程度だと考えられるでしょうか。</p>	<p>ご指摘の通り、熱伝達率は、内部流体の状態の違いや、内面スケール・外面クリンカの性状や付着分布の状況によって異なります。</p> <p>今回の研究では、内部流体として水・空気を使用しておりますが、試験時間が短いため、内面スケール・外面クリンカは発生していません。そのため、管内および管外の熱伝達率は一般的な熱伝達率の式で問題なく算出できております（状態の違いや流体温度の変化、レイノルズ数などの依存性は考慮しております）。</p> <p>ご指摘の通り、実機では内面スケール・外面クリンカなどに起因して伝熱管の熱抵抗が変化し、メタル温度へ影響を与えますが、管外面、管内面の熱伝達率を比較すると、管外側の熱伝達率が 1 オーダ程度小さく、熱抵抗値は管外側の熱伝達が支配的になっております。したがって内面スケールの影</p>	<p>岡部治美</p>

		響よりも、通常運転の範囲では外面クリンカのメタル温度への影響が大きいと考えます。外面クリンカによる熱抵抗値の変化については、上述の通り、中赤外カメラ等による付着状況を基に熱抵抗値へと反映していくことを検討しております。内面スケールについて、約 10 万時間の運転時間で付着するスケール厚さは伝熱バンクによっても異なりますが、50 μm程度と微小であり伝熱管温度に与える影響はほぼ無視できるものと考えます。	
資料 5 P37-41	ボイラの設計や状態は、製造メーカーやユニットによって違いがあり、またユーザによってこれまで採取している運転データも異なると思うのですが、ある実機ボイラに新たに本技術を適用して、評価できるようになるためには、前処理～評価開始までどれくらいの時間やデータが必要でしょうか。	弊社以外の製造メーカーやユニットにつきましても、数値解析のインプット条件を正確に把握できれば、本技術を適用することは可能です。前処理～評価開始までに必要な時間につきましては、既存ボイラの熱電対や微粉炭流量計の取り付け状況、これらを追設する工事量、定検期間とのタイミング等を考慮する必要があると考えます。また、数値解析のインプット条件としまして、炉や伝熱管の形状データや管台の熱電対温度や微粉炭流量・空気量などの運転データが必要になります。	岡部治美
資料 5 P42-43	検出システムを軽量・ユニット化したことは、大きな成果だと思います。ただ、実機現場では、レールやユニットを付けられない配管も多く、また、レールを精密に固定するには、時間と費用がかかります。	軽量・ユニット化の評価、ありがとうございます。現場で実機配管にレールを精密固定するために、開発段階からレール接続部の専用ジグ開発やボルトが脱落しない機構を採用し、高精度かつ短時間で組上げる仕様としました。装置設置高さは、プラ	岡部治美

	<p>このような現場施工に関する課題に対して、どのような解決策を考えているでしょうか。</p>	<p>ント情報を基に、500mm以内にしました。通常、作業員が本計測前に配管表面の酸化被膜除去等にアクセス可能な箇所には設置できるものと認識しています。費用に関しては、対象配管の計測個所によっては、足場組上げや保温材剥離等を要しますが、これらは、これまでの発電所の定期検査でも実施されているもので特別な作業ではありません。また、検査ができず不具合が発生しプラントが計画外停止した場合の多額の損失を考慮すると、ユーザーには、本計測の重要性を認識いただけるものと考えております。</p>	
資料 5 P41	<p>伝熱管の温度推定技術の向上の「新たな課題」として、「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」とありますが、負荷変動によってどのような影響が考えられて、どうして火炉壁管も含めた検証が必要になるのかについて、詳しくご説明下さい。</p>	<p>負荷変動率を変化させた場合、非加熱部と加熱部に温度差が発生し、応力の影響が大きくなると考えられます。また、火炉壁内でも伝熱管毎に温度差があり、急激な負荷変化時に温度差が大きくなるため、熱応力の影響が大きくなります。この温度差から応力を計算し、負荷変動率を増加させた場合の弱点部位を推定するために、火炉壁管も含めた検証を実施する必要があると考えております。</p>	岡部治美
資料 5 P47	<p>クリープボイド初期検出システムの開発の「新たな課題」として、「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、</p>	<p>USCプラントの当該対象部は、材料試験結果を基に運転時間により管理されており、現在の基準は火力発電の運転条件に基づくクリープデータか</p>	岡部治美

	<p>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」とあります。これは、本研究成果である精密音響装置が、この新たな課題に対しては使用できないという意味でしょうか。ここで得られた成果・知見の中で、新たな課題に対して活用できるものはありますか。</p>	<p>ら 99%信頼性で破断の生じない条件が選ばれ、その使用時間を越えた部材は全交換されています。実際の部材の損傷度はばらつくことを考慮した、過度に安全側の基準と認識しています。しかし部材の損傷度は個別に計測している訳ではないので、極めて安全側の基準でありながら、部材の残存寿命の信頼性は保証することができないのが現状と認識しています。また今後火力発電の運転環境がより過酷になると、クリープ損傷は加速すると考えております。</p> <p>上記現状を考えると、本計測法による評価が実用されれば、それぞれの部材でクリープ損傷が非破壊計測できるので、検査結果に基づいて損傷が大きければ早期に交換し、損傷が軽微なら継続利用することができます。また部材ごとに計測に基づく保守になるため、使用時間のみに基づく盲目的保守に比べ、保守レベルの高い運用となることが期待されます。さらに個々の部材を計測することで信頼性の高い保守が期待できるので、部材を共通の損傷基準で取り換えることが可能になるため、結果として部材の長期使用により、発電コスト削減も期待できると考えております。</p> <p>一方本開発装置は、<math>\phi</math>数 <math>\mu\text{m}</math> のクリープボイドの密集を評価可能な高分解能仕様で設計されてお</p>	
--	--	---	--

		<p>り、1mm 四方の計測領域計測に 25 分を要します。発電プラントの定期検査毎に同じ位置をモニタリングするためには、汎用のフェーズドアレイ計測と粗探傷を組み合わせる手順も必要となるため、現状ではこれまでの知見で損傷が優先発生する部位を予め選んで、モニタリングする使い方になります。</p> <p>将来の課題として挙げたのは上記の計測点を特定したモニタリングに加え、調整電源としての利用が拡大し、保守の次のステップとして定期点検の限られた時間内で例えば溶接線全面を検査できる汎用の探傷手法が求められた場合の受け皿として、超音波フェーズドアレイの高解像化の装置開発によるマイクロクラックの計測手法は有力と考えています。しかし、現状の保守基準のままで実機適用が期待できる本開発装置に比べ、計測対象をマイクロクラックとする高解像フェーズドアレイは、実機利用には小さなマイクロクラックを許容する保守基準の変更が必須であり、実用までには多くの課題を抱えています。ただこれらの議論を始めるためにも、マイクロクラックの計測手法の開発は重要と認識しております。</p> <p>現実的には、現在開発したクリープボイドの非破壊検査法を実用展開しつつ、次の大きな運用転</p>	
--	--	---	--

		換を想定した新しいフェーズドアレイ法の開発研究は別途有用と考えております。	
--	--	---------------------------------------	--

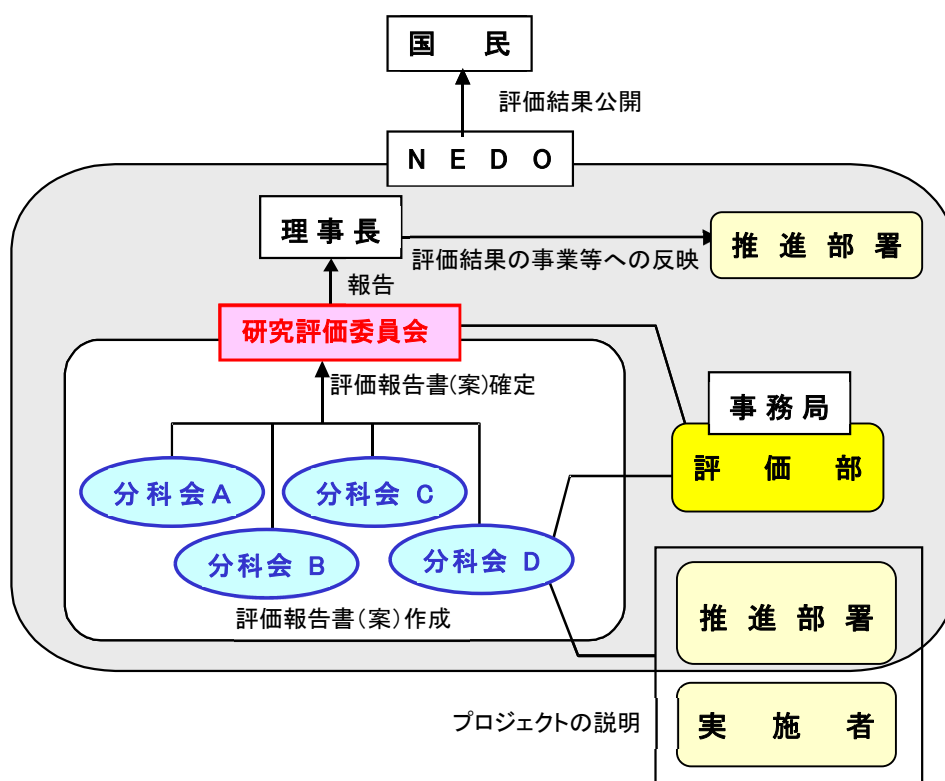
## 参考資料 2 評価の実施方法



本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
  - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
  - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

「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」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「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」  
に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図っているか。
- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

#### 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

##### 「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。

##### (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

##### (2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

##### (3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

## 「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### (1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

### (2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。



・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

### 参考資料 3 評価結果の反映について

「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)の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>①成果については、事業化あるいは社会実装することによって、初めて NEDO 事業としての意義が達成されることから、地球規模の CO2 の削減貢献のみならず、新設の場合には初期投資と維持管理、既設については維持管理の経済的なメリットをもう少し定量的に示してほしい。</p> <p>②現在あるいは今後の火力発電所の運用保守形態を十分に調査し、これを踏まえた費用削減効果を算出してほしい。</p> <p>③「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」と「クリープボイド初期検出システムの開発」との連携が不足しているように思われるため、両者が融合することによる相乗効果を示したほうが良い。</p> <p>④目標設定とそれによる成果の関係や費用対効果を明確にしてほしい。</p> <p>⑤本事業の知的財産戦略を改善してほしい。NEDO 事業がその成果の実用化・事業化を目指していることを踏まえると、もう少々積極</p>	<p>①経済性について、定量的に示せるよう、後継事業として 2020 年度に採択した事業の仕様書に反映し、実施計画書に盛り込んで取り組んでいる。</p> <p>②今後の運用形態を踏まえた費用削減効果の算出については、後継事業として 2020 年度に採択した事業の仕様書と実施計画書に反映し、有識者やユーザーを含めた委員会等にて検討するよう事業者へ指導する。</p> <p>③前者は伝熱管の小径配管で、後者は大径配管で運用保守のニーズや診断方法が異なるが、情報交換は両者に参考となり、モチベーションの向上につながるので、委員会等で情報交換が図れるよう、仕様書や実施計画書に反映する。</p> <p>④後継事業において実機での実証を取り込むことや費用対効果を明確にするよう、仕様書や実施計画書に反映する。</p> <p>⑤海外展開において、本事業のメンテナンスの高度化は我が国の得意とする分野であり、事業者が差別化を図るうえで、積極的な知</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>的な戦略を取り入れることを期待する。</p> <p>⑥今後、既存2テーマの終了に伴い新規テーマが開始されるが、NEDO のマネジメントの工夫をはかり、過去の研究開発プロジェクトとは一線を画すような実用化・事業化に直結した成果を期待したい。</p> <p>⑦「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」については、実機適用上での課題があると思われることから、実機で生じるクリンカの付着・脱落、減肉による影響を考慮した温度解析手法の開発と、それをベースにした管の寿命予測法や管交換時期判定法の開発を目指してほしい。</p> <p>⑧「クリープボイド初期検出システムの開発」については、ボイド検出の再現性や検出限界のため、複数の対象部材に対する計測やデータの定量化等が必要と思われる。</p> <p>⑨成果の実用化・事業化の戦略は、現状のままでは不明確と思われる。「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」において</p>	<p>財戦略を図るよう、仕様書や実施計画書に反映するとともに事業者を指導する。</p> <p>⑥後継事業において実機での実証試験を実施し、必要に応じてユーザーとの連携を図るよう採択条件に盛り込み、仕様書や実施計画書に反映した。また、NEDO のマネジメントとして、委員会等でユーザー関係者にもオブザーバーとして参加してもらい、研究開発側と利用側の意見交換の場を積極的に設け、実用化の促進を図る。</p> <p>⑦「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」は、後継事業で実機試験を計画しており、実機ボイラでのクリンカの付着・脱落等の影響など実機での挙動を反映するよう、仕様書、実施計画書に盛り込んでいる。</p> <p>⑧「クリープボイド初期検出システムの開発」は、限定的な計測法であったが、後継事業では、より汎用的な計測方法の開発となり補充しあうが別の技術となる。ボイド検出については必要なデータの蓄積に努めるよう事業者に対して指導する。</p> <p>⑨「微粉炭焚きボイラにおける伝熱管の温度推定技術」の後継事業において、各種実機試験を実施することを仕様書、実施計画書に反</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>は、温度解析誤差を縮めたことによって、伝熱管の寿命予測や交換管理に本ソフトが使用されるニーズが増す、とする理由を更に掘り下げてほしい。</p> <p>⑩本ソフトを使用した伝熱管の寿命管理手順や保守コストの低減効果を明確に示し、それに対するユーザーの意見等を調査しておくことが必要である。</p> <p>⑪「クリープボイド初期検出システムの開発」においては、高精度な要素技術を開発することで経年損傷初期のクリープボイド密集の検出が可能になったとしても、その損傷部材の余寿命を定量的に評価することは必ずしも容易ではないことから、高精度・高信頼性のクリープ損傷計測システムの完成とそれに基づく高精度な定量的余寿命評価手法の構築を早期に実現し、その実機への適用と検証を実施してほしい。</p> <p>⑫今後の展開として、自社ボイラのみならず、他社ボイラ、さらには、性能が低いボイラへも適用できると思われることから、事業化においては、ユーザーの利便性向上のため、特定メーカーの製品に限らず汎用的に利用できる実施形態への検討を期待したい。</p>	<p>映している。また、委員会等で、ユーザーのニーズとして費用対効果を明確にし、定期検査の延長の可能性や保守範囲の変更による経済性を検討するよう事業者に指導する。</p> <p>⑩本ソフトの評価について、実機試験に基づく費用低減効果を検討するよう仕様書、実施計画書に盛り込んでいる。また、技術評価委員会等でユーザーの意見等を反映するよう事業者に指導する。</p> <p>⑪「クリープボイド初期検出システムの開発」の後継事業において、より汎用的で対象範囲が広く実機適用が容易となる高解像なフェーズドアレイシステムの開発を採択した。また、採択決定後、ユーザーである電力数社を委員とする評価委員会等を設置するよう、仕様書、実施計画書に反映済みであり、着実に成果があがるよう事業者を指導する。</p> <p>⑫同様にユーザーである電力数社を委員とする評価委員会等を設置し現場ニーズを取り込めるよう、採択決定後、仕様書、実施計画書に反映済みであり、着実に成果があがるよう事業者を指導する。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部  
部長 森嶋 誠治  
担当 川井 佳子

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地  
ミューザ川崎セントラルタワー20F  
TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162