

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」(終了時評価) 分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2023 年 7 月 31 日 (月) 12 : 30 ~ 17 : 40

場 所 : NEDO 川崎本部 23 階 2301/2302/2303 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 伊藤 隆基 立命館大学 理工学部 機械工学科 教授
分科会長代理 井原 郁夫 長岡技術科学大学 副学長 大学院工学研究科 工学専攻(機械工学分野) 教授
委員 澤田 浩太 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 構造材料研究センター 材料評価分野
クリープ特性グループ グループリーダー
委員 藤原 尚樹 出光興産株式会社 石炭・環境事業部 企画課 シニアリサーチャー
委員 増川 浩章 一般社団法人 火力原子力発電技術協会 専務理事
委員 村岡 元司 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 執行役員
委員 山崎 泰広 千葉大学 大学院工学研究院 機械工学コース 准教授

<推進部署>

福永 茂和 NEDO 環境部 部長
在間 信之 NEDO 環境部 統括調査員
阿部 正道 NEDO 環境部 主任研究員
野原 正寛 (PM) NEDO 環境部 主任

<実施者>

三原 毅 島根大学 材料エネルギー学部 学部長/特任教授
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
山下 登敏 三菱重工業株式会社 エナジードメイン SPMI 事業部 技術部 ボイラ基本設計課 主席技師
篠崎 康平 三菱重工業株式会社 エナジードメイン SPMI 事業部 技術部 ボイラ基本設計課 開発チーム
主任チーム統括
吉葉 史彦 一般財団法人電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部 上席研究員
竹内 司 東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム事業部 マネジャー
市川 裕之 東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム事業部 フェロー
西田 秀高 中国電力株式会社 エネルギー総合研究所 嘱託 (プロジェクトリーダー)
杉内 栄夫 中国電力株式会社 エネルギー総合研究所 機械システムグループ 担当副長

<オブザーバー>

笹山 雅史 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 課長補佐
萩 厚 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 係長
渡邊 貴紀 経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料環境適合利用推進課 係長

<評価事務局>

三代川 洋一郎 NEDO 評価部 部長
山本 佳子 NEDO 評価部 主幹
佐倉 浩平 NEDO 評価部 専門調査員
森泉 清和 NEDO 評価部 専門調査員

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 意義・社会実装までの道筋
 - 5.2 目標及び達成度
 - 5.3 マネジメント
 - 5.4 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 火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発
 - 6.2 石炭火力発電システムの運用性向上技術開発
 - 6.3 タービン発電設備次世代保守技術開発
 - 6.4 ボイラクリープ疲労損傷の高精度余寿命診断技術開発
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

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 (評価委員、評価事務局、推進部署)

【伊藤分科会長】 立命館大学の伊藤です。専門は材料強度であり、特に高温強度、クリープ、疲労に関する研究をしております。また、材料学会の高温強度部門委員会がメインになっており、現委員長は、一番向こうにおられます山崎先生が担当をされていますが、私は前委員長ということで高温強度のほうに長年携わってまいりました。本日はいろいろな技術に対し、あまり囲い込むことなく、幅広くフィードバックをしていただければと考えており、この前の長崎のときにも申し上げたのですが、なるべく技術をいろいろなところで学協会を通じてフィードバックをしていただければと願っております。本日はどうぞよろしくお願いいたします。

【井原分科会長代理】 長岡技術科学大学の井原です。専門は機械工学をベースとした、いわゆる非破壊検査、評価です。どうぞよろしくお願ひいたします。

【澤田委員】 物質・材料研究機構の澤田と申します。専門分野は、耐熱材料のクリープの強度特性評価、あるいは材質劣化になりますが、どちらかと言えば、冶金的な観点からの取組を専門としております。どうぞよろしくお願ひいたします。

【藤原委員】 出光興産の藤原と申します。出光興産は石油・ガソリンなどの販売をしている会社ですが、私は石炭を海外で生産し、日本の電力、それから一般産業に届けるといった事業を担当する部署におります。専門分野は石炭の燃焼技術と環境対策技術です。よろしくお願ひいたします。

【増川委員】 火力原子力発電技術協会で専務理事をしている増川と申します。専門は、電気工学ですが、火力発電所の計画、建設、運転、メンテナンスといった、おおよそ撤去工事以外の全てを経験しておりますので、そういった現場を知る立場として委員をさせていただきます。

【村岡委員】 エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所の村岡と申します。私は、環境とエネルギー分野のコンサルタントということで、脱炭素等について長く活動している次第です。よろしくお願ひいたします。

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。専門は、伊藤先生と同様に材料強度学、特に高温強度、熱疲労、耐熱超合金等の熱疲労を研究しております。よろしくお願ひいたします。

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」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に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。

全体の説明に対して、何かご意見、ご質問等がございましたら今からお受けさせていただきたいと思ひます。それでは、藤原委員お願ひします。

【藤原委員】 出光の藤原です。2点伺ひます。まず1点目ですが、このプロジェクトをこの後実用化に向けてNEDO様のほうで公募をしていくという計画のご説明がありましたが、4つのテーマを全て公募されるというご予定でしょうか。

【野原 PM】 実用化、事業化のサポートを念頭に今年度以降公募をさせていただくというお話をいたしました。公募ですので、基本的には真っさらな状態で公募要領をつくり、それを広くNEDOのホームページで公開し、それに合致するような内容であれば応募をいただくというようなものとなっております。もちろん、今まで実施していただいた4つのテーマの皆様方にもぜひ応募いただければ、よりよい実用化、事業化が目指せるのではないかと考えている次第です。

【藤原委員】 ありがとうございます。次に2点目ですが、費用対効果のご説明について、この中で、本プロジェクトの中の経済的な効果というのはかなり明確に示されていたと思うのですが、技術的な面からは、石炭火力の安全性や電力の供給安定性に対する貢献というのがかなり大きいと思ひました。そういった面での費用対効果というか、費用というわけではないのですが、このプロジェクトの効果というところではどのようにお考えでしょうか。

【野原 PM】 おっしゃるとおり、費用対効果として今回数字という形で、その一例として 288 億円という数字をお見せしたところでございます。ただ、本プロジェクトは信頼性の向上技術や故障予知に関するプロジェクトとなっていますので、経済効果というよりは、むしろ安全性や電力の供給安定性の確保で電気事業者様に社会的インパクトや影響力というのがある程度大きいのではないかと考える次第です。

【伊藤分科会長】 ほかにいかがでしょうか。澤田委員お願いします。

【澤田委員】 物質・材料研究機構の澤田です。最初のほうで、アンモニアや水素を混焼した場合のプラントでもこの技術は適用できるというお話がございましたが、アンモニアあるいは水素が、いろいろな材料とかそういうものに対する影響というところでの検討も少し進められているところかと思えますけれども、そういったものは特に問題なく、この技術はアンモニア・水素混焼に適用できるというお考えでしょうか。それとも、部材によって水素とかアンモニアの影響がある部分、ない部分といろいろあるかもしれないので、今回の技術の対象部材としてはあまり影響がないということでしょうか。

【野原 PM】 波及効果として、アンモニア・水素の混焼、専焼のあたりにも活用できるだろうというご説明をさせていただいたところになります。なぜそのように考えているかと言いますと、汽力発電設備、いわゆるボイラ、タービン、発電機で構成される発電設備については本プロジェクトで対象としている技術についてほぼそのまま活用できるだろうと考えている次第です。また、材料に関しては、やはりアンモニアを燃料とする場合は、ボイラの中でアンモニアの影響がどうなってくるかというところが重要となります。これは本プロジェクトの研究対象ではないのですが、例えばバーナーの周りの窒化といったあたりがアンモニアによる影響としては非常に有名なところで、そういった窒化に関する研究開発は並行して進めつつ、今回のプロジェクトの成果を水平展開として適用できるような状況を狙っていければと、波及効果として狙っていければよいのではないかと考えております。

【澤田委員】 あともう一点伺います。先ほどの次に公募されるというお話について、実用化の中に「標準化」といったキーワードが入っているのですが、標準化というと、かなり時間がかかる話だと思うところで、それも一応スコープに入れた公募が行われるということでしょうか。

【野原 PM】 標準化はもちろん実施していかなくはいけないものであり、アウトカム達成までの道筋には当然入ってくるものとなります。その内容については非公開セッションでより詳細にお話をさせていただきますが、NEDO の公募として見たときにどうかと言いますと、NEDO の公募として標準化を直接委託するという考えはございませんので、そこは標準化に必要な、例えば研究開発に伴うデータ取得であるとか、何かそういった面でのサポートに限定されてしまうのではないかと考えます。

【澤田委員】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 今の内容に関連しまして、立命館の伊藤より質問いたします。混焼、水素・アンモニアについてのいろいろな技術課題があるといったところでしたが、これは次の実用化プロジェクトの中に、そういった水素・アンモニアを積極的に入れていくという理解でよろしいでしょうか。

【野原 PM】 今後の公募内容というのをこの時点で詳細にはお伝えできないのですが、現状としては、例えばアンモニア・水素混焼専焼をメインに据えた公募を行うことはイメージしておりません。

【伊藤分科会長】 そうしますと、今の本プロジェクトの継続みたいな形になると思うのですが、水素・アンモニアなしではない、やはり必ず水素・アンモニアは何かの形で入ってくるという理解でよろしいですか。

【野原 PM】 私の説明が不足しておりまして、すみません。例えば今のプロジェクトで言いますと、「石炭火力の」というプロジェクト名称ですけれども、そういったところで石炭縛りというものはなくなっていくのではないかと。その縛りがなくなっていくことは汽力発電全般になるかと思えますので、範囲としてはアンモニアや水素も対象として含まれていてもおかしくはないといった理解になるでしょうか。

歯切れが悪くて申し訳ございません。

【伊藤分科会長】 承知しました。ありがとうございます。それでは、井原分科会長代理をお願いします。

【井原分科会長代理】 井原です。今回のテーマのキーワードは「負荷変動対応」ということです。負荷変動といってもいろいろあると思いますが、基本的には温度変化に起因する熱応力の発生により機械的負荷が変動することと、それから、温度履歴に伴う材料の熱損傷や品質の劣化というのが主なものと考えます。そういった中で、今回はいわゆる一定の想定の下で温度変動を仮定していると思われませんが、まずその仮定（想定）の妥当性を簡単に確認させてください。それからもう一つは、その想定した仮定が必ずしも妥当であるかどうか、現実には仮定どおりになるとは限らないというところでの社会実装ということ踏まえ、いわゆる仮定の崩れに対する現時点での本研究成果の適用性や有用性といった観点でのコメントを伺えればと思います。よろしくをお願いします。

【野原 PM】 今のお話というのは、特に事業②の三菱重工様の事業に関するところという理解になるでしょうか。

【井原分科会長代理】 そのご理解で結構です。お願いいたします。

【山下主席技師】 三菱重工の山下よりお答えいたします。今ご質問がありました負荷変化、石炭火力の負荷変化ということで行きますと、やはり実際の仮定した損傷というのがどれくらいになるかというのを今回の研究テーマの一つとして取り上げました。具体的には、そういう実機で確認というのはできませんので、あくまで CFD シミュレーションでの確認になりますが、そもそもそのシミュレーションがきちんとしたものであるかというところで、我々今回取り組ませていただいた研究の中では、まず初めに実機とモデルがしっかり合うかというところで精度向上を図り、それでモデルの中で高速負荷変化という形で、そのハード的なところ、熱応力等がどれくらいかかるのか、その損傷部位はどの部位が弱点部位になっているのかという観点での同定化という、そういうツールを今回の研究で開発させていただきました。それを基に、将来的にそういう高速負荷変化の対応というところで、弱点部位を逆にそういう運用をするのであれば、お客様、ユーザー様のほうにあらかじめ対策強化をしていただくとか、そういう形で今回の研究開発を適用し実用化をしていきたいと考えている次第です。

【井原分科会長代理】 ありがとうございます。そうすると、今回の現時点での成果は、恐らく実機への適用について、今回は想定していないような負荷変動があった場合でも有益にこの成果が適用できるように理解してもよろしいでしょうか。

【山下主席技師】 そのご理解でよろしいかと思えます。

【井原分科会長代理】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、増川委員をお願いします。

【増川委員】 火力原子力発電技術協会の増川です。資料 36 ページのスケジュールについて、終了時評価の後にやむを得ず実機の確認試験があるということですが、この評価において後でやるというものをどのように位置づけられているのか教えてください。

【野原 PM】 位置づけというのはプロジェクトの中の位置づけでしょうか、それとも個別事業における位置づけになるでしょうか。

【増川委員】 評価するにあたり、この部分をどう捉えればよいのかということ。ここの答えが出ていない中で、今先んじて評価をするということはどう捉えられているかと。

【野原 PM】 承知いたしました。本来であれば、当然ながら全ての研究開発が終了し、全ての結果が出た後に評価をいただくというのが一番よい形という理解をしてございます。ただ、このプロジェクトにつきましては、後継プロジェクトの公募が控えているということもございまして、このような体制を取らせていただいたところになります。事業②が 2023 年 11 月までというところですが、試験自体は今年度実施できるということと、その試験をもって実施計画書の当初目標としていた内容は達成でき

るということで我々も判断していますので、このタイミングでのプロジェクト評価に踏み切っている次第になります。また、事業②の技術的などが実際にどうなのかというところは、非公開のところでは事業者様からより詳細にお話をさせていただき予定となっていますので、そちらでのご回答とさせていただきます。

【増川委員】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、山崎委員お願いします。

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。マネジメントに関しまして、採択プロセスで4事業全てが条件つき採択となったと記載されていますが、具体的には、例えばその条件と、それに対してどのような対応をしてマネジメントをされたのかというところで、お話しできる範囲で構いませんが教えていただければと思います。

【野原 PM】 4件中4件とも採択条件を今回つけさせていただいたところになりますが、その採択条件の内容については非公開という形になりますのでその詳細をお伝えできないところがございます。ただ、4事業全てにおいてしっかり対応いただいております、NEDOとしても採択条件を十分満足していると判断してございます。採択条件の概要としては、事業費に関するものや、こういうふうに進めたほうがもっとよいのではないかとというような視点での採択審査委員会のコメントとなっております。

【山崎委員】 ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、村岡委員お願いいたします。

【村岡委員】 村岡です。今回の成果のところでは30件程度と結構な数、特許を取られているといいますが、申請をされていますが、先ほどのゼロベースでの公募というところで、多分特許はそれぞれの事業者様に属するものになると考えますが、どのような関係になるのでしょうか。

【野原 PM】 特許自体はもちろん各事業者様にその権利が存在するというものでございます。「ゼロベースでの公募」と私が申し上げたのは、この今の4つの事業の皆様が次も提案したいというような意思であれば、公募にぜひご参加いただくという意味で、引き続き後継事業を希望するという場合は、もちろんこの特許をご活用いただけるということで考えておりますし、完全に今回の事業とは別な事業者様から入ってこられたとしても何の問題もない状態といった意味でのゼロベースというお話になります。

【村岡委員】 分かりました。ありがとうございます。

【伊藤分科会長】 それでは、ありがとうございます。予定の時間となりましたので、以上で議題5を終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【山崎委員】 千葉大学の山崎です。まず、推進部署のNEDOの皆様及びプロジェクトを実際にご尽力いただいた皆様のご労務、ご苦勞に対しまして敬意を表するとともに、しっかりとした成果を上げていただ

いたことに感謝を申し上げます。また、今日の途中にもお話ししましたが、国連事務局長が「最近、熱くなっているだけではなく地球が沸騰化している」というような発言をされていることから、今後「脱炭素」というキーワードがより乱暴に使われる可能性もあるという現状の中で、電力安定化という社会的に重要な問題に対し、本プロジェクトは非常に重要な位置づけになっていると考えるところです。今回実施されているプロジェクトの難易度、そして非常にお金もかかるプロジェクトですから、NEDO プロジェクトとして実施すべきものと理解いたします。それから、お話を聞いていて思ったのは、やはり他のNEDOのプロジェクトとも関連するなどうまく関連づけながらやられており、全体的なマネジメントとしても非常によく運営されていると感じました。そのほか、非公開セッションの内容に関しても、個別テーマの各テーマにおいて優れた成果が得られていることを確認できましたし、非常によくできたプロジェクトだと判断しております。その上で、本プロジェクトのアウトカムというのは事業化されて社会に役立つことが重要だと思いますので、時間との戦いを感じる中、すばらしい成果が得られているので、是非とも一日でも早い実装となることを願っております。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、村岡委員よろしく申し上げます。

【村岡委員】 エヌ・ティ・ティ・データ研究所の村岡です。まずは、皆様お疲れさまでございました。先ほど山崎先生がおっしゃっていたように、個別の事業者様の研究開発は十分実施なされており、一定の成果が出されているものと理解しております。その上で、やはり世の中の変化が非常に激しく、脱石炭といった動きも出ている中、今回皆様の開発なされたものがどうやって世の中でうまく実装化されて役立っていくのかが民間企業として非常に関心が高いところです。また、「石炭火力の負荷変動対応技術開発」というところで、負荷変動の対応の技術開発をしたものが、実は運転・維持管理といいますか、保安・メンテナンスのところでも随分役に立つといったご示唆が皆様の中で共通としてございました。実用化の部分については、保安・メンテなどの分野での活用ということを目に入れていただくと大変効果的になるのではないのでしょうか。また、実装の方法として、日本企業の皆様は真面目でありますから、出来上がったもので間違いのないものを世の中に出していくということが従来あるかと思えます。一方で、デジタルの世界というのは、もうベータ版をどんどん出して、それを使いながら直していくことが普通になっているアジャイルの時代だと考えます。これがやはりスピードにも非常に影響するところで、もちろん事故を起こすと大変なものですから、アジャイルというのが許されることではないのかもしれませんが、あまり完成度を高めるところばかりに時間をかけるよりは、使える部分からは使っていくというようなアプローチというのも大変大事ですし、そうやっていくことで、この石炭向けに開発された技術等がほかのものにも使っていけるといった可能性を広げることにつながるのではないかと感じておりますので、よろしく願いいたします。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、増川委員よろしく申し上げます。

【増川委員】 火力原子力発電技術協会の増川です。今日は丁寧なご説明をありがとうございました。火力機といいますのは、皆様ご存じのように、やはり再エネが拡大する上で受給調整機能を発揮していく、ある意味非常にペアで使い勝手のいいものだと理解しております。そうした中、最低負荷を下げるというだけではなくて、日が陰ったら出力を上げなければいけない、そういった上げ余力といいますか、そういう意味での負荷変化率を速くするか、そういったものが安定供給に非常に資するものと。そういう重要な研究であったと感じます。また、個々の内容を見ますと、診断のものであるとか、運用性を向上するといったものがございましたが、再エネが拡大するに伴っての火力機の役割の変化を非常にう

まく捉えた研究成果だったのではないのでしょうか。そして、社会実装をされて、かつ広まっていくためには、そのインセンティブというのもしっかりと説明をしながらやっていくことも重要と感じた次第です。以上になります。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、藤原委員よろしく申し上げます。

【藤原委員】 出光興産の藤原です。私は採択のときにも委員をさせていただきまして、これらの技術が一体本当に実用化できるかどうかというのが少し分からなかったところで、「ぜひ発電事業者様などの意見を聞いて、実用化に向けた取組の方向性をしっかり持って進めてほしい」というお話をいたしました。その上で今日お話を聞いている中では、需要家の皆様などのお話を聞きながら、また委員になっていただいて一緒に進められていることを理解いたしました。アウトカムの方性というのもしっかり出ていて、すぐに実用化できるものもありますし、2030年以降に標準化していくというのも明確に出てくるということで、今回のプロジェクトは非常に全体として将来に向けてよいプロジェクトだったと感じております。内容的な部分は私の専門外であり難しかったのですが、そうであっても、日本人らしい細かい技術を開発してやっていくというところが見えていて、繰り返しになりますが、よいプロジェクトでありました。それから、ほかの方もお話しされていましたが、この負荷変化の対応というのは、ニーズとしては非常に早く求められるものですので、出来たものはどんどん使っていただけるような形で、実用化に向けてもまた引き続き NEDO 様のご支援をいただくとよいのではないかと考えます。ほかへの展開というのは、アンモニアや水素の混焼というのは我々が進めていくところですが、そこでも十分使えるのではないかと思いますので、そこら辺のところを次のプロジェクトで明確にしていいただければと思います。他方、このプロジェクトの意義のところでは、寿命延長というのがございましたが、それよりも増して負荷変動をしていくというのは、石炭火力の普通の変動といえますか、運用とは違います。リスクが高まっているということから言えば、リスクを減らすといったところのほうが意義は大きいのではないかと思いますので、その辺のところも言葉として入れていくとさらにプロジェクトの重みが増すのではないのでしょうか。以上です。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、澤田委員よろしく申し上げます。

【澤田委員】 物質・材料研究機構の澤田です。私は今回の事後評価というところで、初めてこちら事業内容を知ることになりましたが、基本的に実用化というのを非常に明確に念頭に置いたテーマであり、材料から始まりまして、ボイラ、タービンなどコンポーネントを含めた負荷変動対応技術の開発というところでのいろいろな成果をご説明いただいたと理解しております。特に、私の専門である材料についても新しい知見が得られていて、それに基づく寿命評価技術といった提案もありました。今後は、この実用化に向けての取組は、むしろ今まで以上に重要になってきて大変になっていくのではないかと感じるのですが、そこは期待いたします。また、その新しい知見については、可能な限りいろいろな形で公表をしていただければと思います。それから、今回この事業で4つのテーマがあったわけですが、今後の活動の中でこの4つのテーマの相互連携といえますか、せつかく一つの事業で4つの実施者の方が集まっているわけですから、この機会に、この事業が終わった後も何かうまく連携をされて、この研究成果がさらに発展していただくと感じた次第です。以上になります。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、井原会長代理よろしく申し上げます。

【井原分科会長代理】 長岡技術科学大学の井原です。大体皆様のご指摘のとおりですが、まず各プロジェクトにおいて、従来技術のボトルネック課題といえますか、そういうものに果敢に挑戦され、課題克服のために新たな取組を実践されていました。その結果として、一定の成果を挙げられているという点は私は高く評価したいと思います。また、今後としては、これも皆様からのご指摘のとおりで、やはり実機適用ということで、ここで得られた成果の社会実装を目指して取り組んでいただければと思います。そしてもう一つは、先ほど澤田委員もご指摘されていましたが、4つのプロジェクトはそれぞれすばらしい成果を残されていますから、できればそれぞれのプロジェクト間の相互連携、これを密にいただき、願わくはデータ共有ということも含めて、各プロジェクトの事業者が連携することによるシナジー効果を創出していただければと思いますので、よろしくお願いたします。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。それでは、立命館大学の伊藤よりコメントいたします。大体もう皆様のほうからお話が出尽くしたように思いますが、いずれにしても今回ご発表いただいたプロジェクトは高い成果が得られていると判断いたします。この技術を、やはりこれからの実機適用において、かつエネルギー基本計画も定期的にベクトルが変わるといったところからも、いろいろな応用であるとか技術転換というのにも必要になってくると考える次第です。そういった意味では、技術を事業者間、今回のプロジェクトのメンバーの中で共有していただくとともに、うまく学協会を利用して、幅広く応用ができるような環境をつくっていただければと強く思います。やはり国の技術は数名のプロジェクトではできませんので、活用できる場所は大いに、そういうデータ共有であるとか、可能な範囲で技術公開をしていただきまして、うまく周りを巻き込みながら発展させていただければということで期待いたしますので、よろしくお願いたします。

【森泉専門調査員】 どうもありがとうございます。それでは、今の講評に対し、環境部の福永部長から一言お願いたします。

【福永部長】 NEDO 環境部の福永です。本日は、長時間にわたりまして、例えば事業者間の連携であるとか、先ほど分科会長からもございましたように、データ共有などマネジメントに関するご意見、そして非公開セッションでの技術詳細に関するご指摘など様々賜りましたこと誠にありがとうございました。多くご指摘のあった石炭に対する様々なご意見、視線が厳しくなっている一方で、やはり系統の安定化のためには火力発電の調整力の一層の確保と信頼性や運用性の向上というのが求められていると考えます。本事業により、これらの課題解決、さらにはプラントの高寿命化や安全性の向上に貢献をし、早期に事業化できるよう、本日いただいたご意見も踏まえ、しっかりと NEDO としても取組を進めてまいる所存です。改めまして、本日はどうもありがとうございました。

【伊藤分科会長】 ありがとうございます。以上で議題8を終了といたします。

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

以上

『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。』

研究評価委員会

公開可

「カーボンサイクル・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」（終了時評価）分科会

質問・回答票（公開）

資料番号・ ご質問箇所	質問	委員名	回答	公開可 /非公開
資料5、p.9、 p.21 資料7、p.2-2	「第6次エネルギー基本計画」から石炭火力の位置づけが変わったことにより、経済的効果の項目内容の変更や変化、および当初各項目で予測されていた経済効果の見込金額等の変化はどの程度でしょうか。	伊藤隆基	石炭火力に対する系統安定化の役割は増大すると考えます。厳しい負荷変動運転が予想されるため、1基あたりの経済効果は増大すると思われませんが、全体的に石炭火力の基数は減少すると予想されます。 なお、資料5のp21「国内高効率石炭火力のメンテナンス費削減効果」の算出については石炭火力のフェードアウトを考慮済みです。	公開
資料5、p.11 資料7、p.2-3	本プロジェクトでの成果は、脱炭素型の火力発電にも適応するにあたり、どの程度技術の転用が可能なのか、ご説明可能であれば、具体的にお示しください。また、適用するにあたり、課題についてもご説明ください。	伊藤隆基	以下に一例を示します。 <事業①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発> 高解像度フェーズドアレイシステムは内部に発生・密集するクリープボイド検出技術です。そのため、汽力発電設備の大径管であれば、燃料種に拘らず適用可能で、脱炭素火力電源に起因する技術的課題は有りません。 <事業②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発> 脱炭素型の火力発電への技術転用については別途詳細検討が必要ですが、本事業で得られた成果は積極的に活用していきます。	公開
資料5・p.15	A-USC材に対して高解像度フェーズドアレイシステムは適用可能でしょうか？ また、A-USC材に適用する場合、どのような課題があるのでしょうか？	井原郁夫	USCの場合、高Cr鋼であり、A-USCは、Ni合金がベースであるため、破壊モード、損傷箇所に違いがあると推定されます。 本プロジェクトでは、適用課題抽出を目的としており、主な課題は高Cr鋼よりNi合金の減衰が大きいこと、計測に用いる超音波を低周波化することによる損傷の検出性です。 ※詳細は、非公開セッションで説明いたします。	公開
資料5・p.16	故障予知・余寿命診断要素技術の2023年度中の開発完了の見込みは？ また、何を以って開発完了と言えるのか？ そのような予知・診断の要素技術は実験室レベルでは数多く研究されているものの、社会実装へのハードルは非常に高いのが実状であると理解している。負荷変動対応能力の向上に照らして、当該開発技術はどのような形で貢献できるのか？また、その実用化・事業化の見通しはどうか？	井原郁夫	資料5のp43以降にて、各事業における"目標"、"成果(実績)"、および"達成度(見込み)"を記載しておりますので、詳細はこちらをご確認ください。また、非公開セッションでは、より詳細な内容を事業者から説明致します。 なお、総じて、内容によって、実験室レベルの事業もある一方で、実機適用可能な事業もあります。ただし、どの程度の経済効果があるかは精査をしていく必要があると考えます。	公開
資料5・p.21	経済効果288億円以上とあるが、その見積もりがやや恣意的と思われる。その試算の妥当性の根拠を示していただきたい。 ①と④を導入することで従来よりも余寿命が短く推定される可能性も否定できないと思われる。これを踏まえると、大径管取替回数2回から1回に減るという想定はやや大胆過ぎないか？ 余寿命診断技術の導入は、経済効果よりもむしろ信頼性向上（安全の確保）という点で社会的インパクトがあるように思えるが、いかがか？	井原郁夫	信頼性向上は、重要な成果であり、事故予測、余寿命診断の目的でもあります。 そのことを経済効果に換算するためには、一定の想定を用いて試算する必要があります。定期点検回数、点検箇所の精査等は、どの程度、コスト削減に寄与できるか見積もりが困難であるため、代表的な事例として試算しているものです。 また、記載頂いたとおり、寿命診断技術の導入により、適切に設備寿命を評価できることから、予期せぬ設備損傷を減らす事が可能であり、信頼性向上（安全の確保）という点でも社会的インパクトは大きいものと考えます。	公開
資料5・p.24	高い負荷変化率と最低負荷引き下げを実現する運用性向上技術とは、具体的にどのような技術か？2023年度中の開発完了の見込みは？	井原郁夫	本プロジェクトは先進的な故障予知・余寿命診断要素技術が主となりますが、事業②では、高い負荷変化率と最低負荷引き下げを実現する運用性向上技術にも取り組んでいます。事業②における取り組みとしては、負荷変化応答改善時の構造的弱点部位の同定技術（ボイラCFDによるメタル温度推定技術）および水蓄熱システムの開発です。水蓄熱システムは発電量引き下げにより生じるボイラの余熱を高温水として蓄え、後刻脱気器給水としてランキンサイクルへ戻すもので、本事業を通して開発を完了しています。	公開
資料5・p.26	溶接部損傷メカニズムを解明したとのことだが、損傷メカニズムとして当該プロジェクトで得られた新しい知見は何か？溶接部損傷については従来研究において数多くの成果が得られているが、それらと比較して当該プロジェクトで得られた知見はどこに一線を画しているのか？	井原郁夫	大径管においてはねじり応力による損傷が表面化しており、ねじりモーメントが実機大径管において寿命評価上無視できません。今回のプロジェクトでは曲げとねじりがかかったクリープ状況下における高精度な余寿命評価法を開発することとしており、今回、ねじりモーメントによる剪断応力の重畳がクリープ疲労寿命に影響することが確認できたことなどが、従来研究と一線を画していると考えています。	公開

資料 5・p.43-68	事業①と④については、一定の研究成果はえられているものの、まだ基礎検討の段階にあるように見受けられる。継続研究を実施する場合、バックキャスト的観点から、克服すべきボトルネックは何か？社会実装への可能性は何パーセントくらいか？	井原郁夫	本プロジェクトである「研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発／石炭火力の負荷変動対応技術開発」は、本年度で終了するが、「研究開発項目③ 負荷変動対応技術開発・実証」を本年度から立ち上げ、これは実ボイラでの実証を目指すものです。 事業①、④は、実機を改造するのではなく、評価方法なので、検査に適用することは可能です。ただし、その検査を標準とするためには、規格化するための準備が今後必要となると考えております。 NEDOとしては、電力事業者への普及を目的として、電気事業連合会の協力を得て、電力会社の火力部、保守部に成果を報告し、さらに、個別説明を実施しています。本年度は、火力・原子力発電技術協会にも協力を要請したいと計画しています。	公開
資料 5・p.43-68	事業②と③については一定の成果が挙げられており継続研究の成果が期待される。継続研究を実施する場合、バックキャスト的観点から、当面の課題は何か？また、社会実装への可能性は何パーセントくらいか？	井原郁夫	事業②、③の多くの研究開発項目については、実機での試験を実施済みであり、それらはモニタリング方法、および、その評価方法の改善であるため、遠隔監視の一環として、提案することは可能です。 ただし、事業②の蓄熱システムについては、実機での実証試験が未了であることから、継続研究は必要です。また、運用性の向上により、どの程度の経済性効果が得られるかは継続して評価することが必要となります。その結果により、ユーザーが制度設計を踏まえ事業として経済合理性があると判断すれば社会実装が進むと考えられます。	公開
資料 5・p.16、資料 7・p.21	アウトカム達成までの道筋として、「余寿命評価手法の系統的な確立、国内・国際標準化を目指すための取り組み」とあるが、それぞれ具体的に説明してください。	井原郁夫	余寿命評価手法の系統的な確立については、本事業における音響計測結果から、①定量的にクリープボイド密度度が評価できることの検証、②さらにクリープボイド個数を介してクリープ損傷度が定量的に評価できるかについて、損傷度を変えた複数の試験体で系統的に音響計測実験を行い、学術的にも寿命評価法として認められるための基礎実験を行うことと考えております。次に、国内・国際標準化を目指すための取り組みとしては、各電力会社の定期検査で本事業にて提案した計測法を採用して頂き、使用時間に伴うクリープ損傷の進行をモニターできることを確認しつつ、多くの高温クリープ試験片の計測データを用いて、9%Cr鋼のクリープ損傷の超音波評価法としてJIS化を目指すことが想定されます。現状、他国では本プロジェクトの計測手法のクリープ損傷応用の試みは無いので、JIS化が実現すれば我が国発の技術として国際標準として提案することも考えられます。	公開
資料 5、2P、12P	本事業は再エネ電源導入に対応した火力の負荷変動に対する技術開発ですが、火力の負荷変動について、開発からこれまでに具体的にはどのような負荷変動の変化がありましたか。また今後の見通しはいかがですか。	藤原尚樹	負荷変動運転は、各電力会社が保有する発電プラントについて、一律で行うものではなく、効率の高い新鋭火力は極力定格を維持し、効率が相対的に低く減価償却が進んでいる既存火力を大きく変化させる運用をしているものと理解しています。 今後、再エネ電源導入拡大に対し、要求される負荷変化率・変化幅が増加する見込みであることから、効率の高い新鋭火力についても、負荷変動運転が必要となり、運転条件がより厳しくなる火力では、本プロジェクトの成果である負荷変動対応技術の必要性が増すと考えます。	公開
資料 5、4P	本技術の波及効果として、脱炭素型の火力発電でも成果が適用できるとありますが、燃料が異なる火力では今回の開発分野に対して、求められる技術が異なると思われませんが、如何でしょうか。	藤原尚樹	以下に一例を示します。 <事業①火力発電設備保全用高解像度フェーズドアレイシステムの開発> 高解像度フェーズドアレイシステムは内部に発生・密集するクリープボイド検出技術です。そのため、汽力発電設備の大径管であれば、燃料種に拘らず適用可能で、脱炭素火力電源に起因する技術的課題は有りません。 <事業②石炭火力発電システムの運用性向上技術開発> 脱炭素型の火力発電への技術転用については別途詳細検討が必要ですが、本事業で得られた成果は積極的に活用していきます。	公開
資料 5、10p	国内外の動向にもありますが、今後、石炭火力は減少していくことが予想されます。本技術は石炭火力が減少した場合、どのような役割をもつでしょうか。	藤原尚樹	再エネ電源導入に対し、新鋭火力についても、負荷変動運転が必要となり、運転条件がより厳しくなる火力が増えるため、本プロジェクトの成果である負荷変動対応技術の必要性が増すと考えます。	公開
資料 5、26P	蓄熱システムのコスト試算が完了とありますが、結果は社会実装できそうなレベルでしたでしょうか。	藤原尚樹	水蓄熱システムにつきましては社会実装可能なレベルと判断しています。	公開
資料 7 頁1-1	見出しを除いた本文上から5行目に「他国性」とあるが「他国製」か。	増川浩章	誤記のため、修正致します。	公開
資料 7 頁2-1他複数箇所	2.2.2費用対効果の記述で、従来の予防保全を盲目的と情緒的な表現を使っているが、TBM (Time Based Maintenance) のことを指しているのか、配管減肉 (肉厚測定) 管理をした状態を従来としているのか、どこからの比較を指しているのか。 従来の方法だと、ボイラ寿命 (50年) で2回/基取り換え工事を実施 (あるいはTBMで計画) していたのか。(金額が大きいで確認したい)	増川浩章	配管減肉ではなく、高温クリープ損傷を想定した記載となりますので、ここではTBMなどを指します。盲目的という表現は修正します。 大径管の取り替え工事頻度については、発電事業者の考え方によって異なると思いますが、2回/基と仮定し費用対効果を試算しています。	公開

資料7 頁2-2/頁4-9	事業②の経済効果が、「ベースロードを外れ負荷調整運用となる日数が年間で5か月に達するとして試算」とあるが、その確からしさの根拠は何か。実績か。	増川浩章	軽負荷期で太陽光発電の出力制御が実施される期間を実績データから概ね算定しました。3月~5月、9月中旬~11月中旬に太陽光発電の出力抑制が行われており、この間は石炭火力がベースロードを外れ負荷調整運用になると設定しました。	公開
資料7 頁2-2/頁4-9	事業②の経済効果は、焚き減らし効果を積分したとすると、焚き減らす対象電源は何か。	増川浩章	本研究では蓄熱設備の導入により石炭火力の最低負荷を引き下げる技術開発を行っておりますので、ここで評価した焚き減らす対象電源は、700MW級のUSC石炭火力発電設備として算出しました。	公開
資料6-2 頁3と頁17	従来の負荷変化速度は、本事業で一貫して平仄（ひょうそく）は合っているか。	増川浩章	立地制約、使用石炭、発電機出力等々の違いから、全く同じ運用をされるプラントというのほぼ無いものの、本事業で前提としている従来の負荷変化速度は社会通念上相当と考えます。	公開
資料7 頁4-24	減肉量が管理値を上回るのを80%の確率で検出とあるが、ここでいう確率とは何か。（管理値逸脱が10箇所あったら8箇所発見できるということか。また、判定精度と用語の使い分けは出来ているか。）	増川浩章	羽根の減肉量が著しく進むと羽根の飛散事故を引き起こすリスクがあるため、タービンメーカは減肉量の保守管理値（mm）を設けています。開発した手法で計算した減肉量の予測値と実機の減肉量の計測値を比較した結果、減肉量の予測値が管理値を上回る件数すなわち逸脱する件数が10件のうち8件以上検出できれば、80%の確率を達成したことを意味します。（80%以上の判定精度を有する式を開発する（した）という主旨で記載しております。） なお、これによりメンテナンスの実施タイミングについて、より適切に検討する事が可能となります。	公開
資料7 頁4-26	レアショート検出率の定義を示さないのか。	増川浩章	レアショート検出率は、正常時の界磁抵抗に対する、レアショート発生時に検知できる界磁抵抗減少分の比率です。 具体的には、界磁抵抗を界磁電流の二次関数で表した場合の定数項について、正常時の分布幅となります（この分布幅が、1%を超えないことで確認した）。	公開
資料7 頁4-27	劣化検出レベルの定義は何か。劣化レベルを自ら定義したとすると50%の値を持つ意味は、維持・運用においてどういう状態を指すのか（要清掃とか）。	増川浩章	クーラ汚れ度を下記で定義しています。 $\zeta = P_{cool} / P_{Loss}$ ζ : クーラ汚れ度 P_{cool} : ガスクーラ熱交換量 (W) P_{Loss} : ガスクーラ入熱量 (W) クーラが清浄であるときには、 $\zeta = 1$ となり、クーラの清掃の目安は、 $\zeta = 2$ である。この ζ の変化率1→2を100%とした場合、50%の精度でクーラ汚れ度を検出できれば、クーラ汚れ度により冷却性能劣化を監視でき、そのトレンドより清掃時期を予測できるものとして、劣化検出レベル50%の目標を設定しています。	公開
資料7 頁4-27	火花検出率の定義は何か。	増川浩章	火花検出率の定義は検出日/発電機稼働日とした。これは計画段階において、火花は1日の内ごく限られた時間のみ発生するということを想定していた為です。火花監視装置を設置した後、微小な火花は常に検出されており、また、火力発電の界磁電流と相関があるという知見が得られました。界磁電流のトレンドから12/26、12/27、1/9も火花が発生していると想定されますが、未検出ないしはレベル低であったため、火花検出率91%（検出31日/稼働34日）となっています。	公開
資料7 頁2-5他	フェーズドアレイシステムを実機適用する場合、定検工程に与えるインパクトは如何ほどか（何時間の作業工程か）。現状がTBMとすると、設備診断のため、クリティカル工程を伸ばす可能性はないか。	増川浩章	フェーズドアレイシステムの実機適用における作業時間は、約半日/1リング程度を想定しております。検査対象箇所数は電力事業者が指定するものと考えているため、クリティカル工程に対する影響は、プラントごとに異なると想定しております。	公開
資料7 頁2-5他	フェーズドアレイシステムを実機適用する場合、代表箇所で足りるのか。	増川浩章	ボイラの起動停止や負荷変化による熱応力などから、損傷が特に進んでいると予想される代表箇所を計測する事になります。一般的には大径管の溶接箇所となることが多いと考えます。	公開
資料7 頁4-16	Dry-Wet 切り替えにおいて、Dry 運転での最低負荷を設計限界まで引き下げた場合、運用上想定されるリスクは何か。（石炭の炭種切り替えによる灰分変化やボイラの汚れで警報が出たり、需給貢献上、リミッタ運転になるとか。）	増川浩章	運用上想定されるリスクとしては、火炉のメタル温度への影響、制御ロジックへの影響等があります。	公開
資料6-1、p12-p14	調査対象サンプルの損傷付与時の試験条件を教えてください。また、設定した試験条件の妥当性について教えてください。	澤田浩太	クリープ試験の専門家の知見や同試験の既存研究および経済産業省の高クロム鋼に対する寿命評価式を基に破断時間が5000時間となる条件で設定しました。設定時間程度で試験体は破断し、試験後、一部試験体を観察し、密集度は損傷差異に応じた差異が確認でき、試験条件は妥当であると考えております。	公開
資料6-1、p23	図の縦軸の値を算出した際の対象面積の定義について教えてください。	澤田浩太	複数の既存研究、調査等からクリープボイドが最も発生するエリアは溶接開先形状から判明しているとの報告があります。そのエリアを約3×3mm程度観察し、最大となる密集度を算出しております。	公開
資料6-1、p25	A-USC材の材料名を教えてください。	澤田浩太	A-USC材料名は、HR6Wです。	公開

資料6-2、 p10	比較に用いている金属組織によるメタル温度の推定精度はどの程度でしょうか？	澤田浩太	メタル温度の推定精度は-10°C~10°Cであり、今回の0°C~20°Cと誤差幅のオーダーが同じになります。	公開
資料6-3、 p17	寿命評価計算モデルの基本的な考え方はどのようなものでしょうか？	澤田浩太	以下のとおりとなります。 ①発電所の運転データからタービン内部の蒸気条件を推定する。②評価対象部品の温度分布と熱応力を算出する。③算出した高温部品の温度履歴に基づき、材料の脆化量を推定する。④脆化量推定値および材料データを基に材質劣化を定量化し、クリープき裂進展速度および疲労き裂進展速度を修正する。⑤前の計算プロセスで求めた②と④から、き裂進展量を計算する。⑥き裂進展量の積算値とき裂の管理値を比較して余寿命を評価する。	公開
資料6-4、 p15	実施した高温曲げねじりクリープ疲労試験の条件の妥当性について教えてください。また、高温曲げねじりクリープ疲労試験での損傷形態の特徴を教えてください。	澤田浩太	実機では、ねじり/曲げのモーメント比率は0.1~0.6程度と想定されますが、今回は1.0~1.3程度と2倍程度であり、試験装置開発と破壊メカニズムの解明の目的としては妥当と考えます。試験結果の実機への適用については今後の検討課題と考えております。損傷形態はHAZ部の厚肉内部となります。ねじりモーメントによるせん断応力が周方向に作用することおよび曲げ応力との複合化により、収縮とポイド連結により破断するようになります。この破損形態は実機においては憂慮すべきと考えております。	公開
資料6-4、 p18-19	HTS-SQUIDは対象材の表面の影響はどの程度あるのでしょうか？(実機への適用を想定して)	澤田浩太	火SUS304J1HTB伝熱管表面に生成する酸化被膜は非金属であり、渦電流が流れないことからHTS-SQUIDの測定結果に影響ありません。一方、同伝熱管の表面に付着する石灰はECTコイル（プローブ）走査時に邪魔にならない程度取り除けば、酸化被膜同様、測定結果に影響はありません。	公開
資料6-4、 p20	マスターカーブ用の内圧クリープ試験条件の妥当性について教えてください。	澤田浩太	火SUS304J1HTB伝熱管の内圧クリープ試験条件（700°C、110MPa）のうち、700°Cの温度設定はCu析出強化機構が喪失しない範囲の最大値、110MPaの応力設定は当社の事前予備試験（700°C）において、実機でクリープ破断した同伝熱管と同様の破壊機構となる条件としています。	公開
資料5、 22ページ	アウトカム目標達成見込みにおいて、想定している情勢変化と、それにとまって生じるハードルは何かあるか？ある場合は、その対応は検討されているか？	山崎泰広	石炭火力に対する系統安定化の役割は増大すると考えます。新鋭火力についても、負荷変動運転が必要となり、運転条件の厳しい火力では、より信頼性向上が必要となる。NEDOによる実証研究の公募等を通して、アウトカム目標の達成をサポートしていきます。	公開
資料5、 23ページ	事業④の項目で、「オーステナイト鋼製伝熱管クリープ損傷開発」とは？誤字ではないか？	山崎泰広	誤記のため、修正致します。	公開
資料5、 26ページ	事業②のアウトプット目標が「詳細設計完了」に対して、成果が「概念設計とコスト試算完了」で達成度が○は問題ないか？	山崎泰広	概念設計とコスト試算完了をもって、詳細設計完了と考えております。なお、実施計画の通りに成果を挙げており、こちらも問題ありません。	公開
資料5、 65ページ	開発項目1.および3.で達成の根拠がないが問題ないか？	山崎泰広	達成度○および◎であれば、“成果（実績）”から達成根拠が判断できるため、“根拠”の項目記載し無くても良いとしております。	公開
資料5、 63、 65ページ	開発項目2.で「センサーの開発、実証試験」の目標に対して、成果として測定精度や安定性が示されていないことは問題ないか？	山崎泰広	今回開発を目指した薄膜静電容量型ひずみ計は、新たな測定原理として誘電体の膜厚と空孔率の変化からひずみを捉え、高温下で機能する誘電膜の開発に取り組んできました。本開発は非常に高難度の研究開発のため、当初から測定精度や安定性を目標に掲げておりません。	公開