

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、よろしくをお願いします。

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、よろしくをお願いします。

【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】 よろしくをお願いします。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 μm 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 μm から 2 μm 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 μm 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のような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 μ m、2 μ 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 μ m、2 μ 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した。私の質問は以上です。

【成瀬分科会長】ありがとうございました。

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ひます。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ひます。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ひます。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、今まで生じなかつた熱応力が肉厚部等に生じると思ひます。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ひます。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ひます。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ところまで行ってきました。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わかりますので、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、これからは非常に重要で、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。

装置を売ることは、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。この装置を売るこ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と思ったら、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を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、実用化に一步でも近づいて、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 ² 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

		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。	
資料 5 P17 1. 事業の位置づけ・必要性	<p>(1) 最初の矢印に、“運転時間を基に約 15 年で全交換されている”との記述がありますが、日本のすべてのプラントでこのようなことが行われていますか。USC は、当初長手継手溶接配管が使用されていましたが、それらは 15 年経過せずに順次周継手配管に交換されています。今後は、周配管溶接部で損傷が顕在化すれば、当該部位（配管）のみ交換されることが予想されます。周継手配管が約 15 年間の使用で損傷が顕在化するとも限りません。その場合でも、約 15 年で全交換されるということが言えるのでしょうか。新たな手法が開発されなくても、全交換にはならないのではないのでしょうか。</p> <p>(2) 2 番目の矢印に、“必要な箇所のみを交換”とありますが、上述したように、本事業成果がなくともそのようになるのではないのでしょうか。“また、交換周期を 20 年程度に延伸できれば”とありますが、この根拠は何でしょうか。新たな手法でより小さい損傷（ボイド）が検出</p>	<p>(1) USC プラントの当該対象部は、材料試験結果を基に年数ではなく運転時間により管理されており、現在使用時間を基準に、全交換されています。ご指摘の通り、損傷度はばらつきもありますので、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ら 99%信頼性で破断の生じない条件が選ばれており、現状は極めて安全側での運用であると認識しています。</p> <p>しかし極めて安全側に運用しているにもかかわらず、部材の損傷度を個別に計測している訳ではないので、部材の残存寿命について信頼性を最終的に保証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られますので、クリープ損傷を非破壊検査し、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保守が期待されます。現在も定期検査時に、一定の運転時間を超過したプラントでは超音波フェーズドアレイで全ての溶接線の非破壊検査が実施されていますが、既存の非破壊検査法</p>	緒方隆志

	<p>できなければ、延伸できないという根拠が明確ではないように思います。</p> <p>(3) 上記(1), (2)を考慮した場合に3番目の矢印の“100億円の削減効果”とはどのような根拠に基づくことになるのでしょうか。事業としての妥当性を評価する上で、費用対効果は現実的な仮定に基づいて算出することが重要であると考えます。</p>	<p>の欠陥検出分解能は5mm程度であり、クリープ損傷のモニタリングに使うには分解能が無く、保守には利用できないので、使用時間のみが保守の指標となっています。</p> <p>周継手は、長手継手より内圧による応力は低くなりますが、配管のサポート等、構造上の他の応力要因も重畳することも考えられます。周配管溶接部の損傷が顕在化すると電力の安定供給にも影響を与えますが、現在の非破壊検査法では数ミリのき裂にまで進展しないと検出できないので、現状の交換基準に近いクリープポイド密集段階の非破壊検出手法の開発は意義があると考えています。</p> <p>(2) ご指摘の通り“損傷が顕在化すれば”、その部位のみを交換することで、合理的な保守手順が確立できるものと我々も考えております。しかし、ご存知の通り今回想定するTypeIVクリープ損傷は、溶接HAZ細粒部の表面から深部(例えば30mm)で優先的に発生し進行していきますので、“損傷の顕在化”を高い信頼性で評価するには、クリープ初期損傷を評価できる非破壊検査法が不可欠と考えています。我々の認識では、既存の非破壊検査法でこれらを検出できる方法はないため、部材は止むを得ず一律に運転時間で交換されていると捉えて</p>	
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		<p>おります。本事業成果等により損傷の有無が明確にすることで、一律に交換する必要がなくなると考えています。これらにより、損傷が低い部位の配管の交換時期が、2~3 定期検査程度延伸することができれば、全配管を交換し終わるまでの期間を、交換周期と捉えた場合、例えば 20 年程度には延伸できると標記したものです。現在の火力プラントの運用では、基本的なき裂を容認した運転はされておらず、低合金鋼の場合は、クリープボイドが検出、または微小き裂が検出された場合は、研削・除去されていますが、高クロム鋼溶接部のように内部に局所的にボイドが発生する場合は、き裂にまで進展する前の段階で検出することが必要で、その検出方法がないために一律交換されていると認識しています。</p> <p>(3) USC プラントは大型のものが多く、100 万 kW 級プラントにおいて、大口径配管を全交換した場合、約 100 億円要しているとの試算があります。上記試算に基づき、プラント寿命に対し、大口径配管の交換回数をもし 1 回削減できれば、その交換費用にあたる最大 100 億円の削減効果があるとして算出したものです。</p>	
資料 5 P23 2.	USC プラントの高温蒸気配管における Type	(1) 今回我々が模擬試験体として用いたのは、	緒方隆志

<p>研究開発マネジメント</p>	<p>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/mm² 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/mm² 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/mm² = クリープ損傷率 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/mm² 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</p>	<p>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/mm² 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/mm² 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</p>	
-------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

	<p>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/mm² 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>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/mm² 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を識別するものです。クリープボイドは 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ボイドの面積率等を評価する際も 2 次元でボイドの有無を判断しており、本開発方法でもクリープボイドの密集の有無</p>	
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		<p>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だと考えています。今後の課題と考える定量評価には、クリープボ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</p>	<p>(1) 本開発手法では、今後、検出するクリープボ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</p>	<p>緒方隆志</p>

	<p>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>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</p>	
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		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。	
資料5	<p>研究開発成果についての質問</p> <p>(1) 伝熱管の温度推定技術について</p> <p>・ p.40</p> <p>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？</p> <p>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>	<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。</p> <p>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>	井原郁夫
資料5	・ p.53	今回の研究で使用している Fluent は商用流体解析	井原郁夫

	<p>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>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>	
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> <ul style="list-style-type: none"> ・ p.36 <p>ミクロンオーダーのボイド検出目標として900個/mm²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が、切断後、2次元断面観察の結果900個/mm²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。</p>	井原郁夫
資料5	<ul style="list-style-type: none"> ・ p.36 <p>検出時間20分を目標としていますが、そのよ</p>	<p>当初目標とした“検出時間”の20分は、1mm x 1mmの範囲の精密探傷音響像を取得するための計</p>	井原郁夫

	<p>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とのことですが、そのベースとなる当初の検出時間を60分としています。この60分とは何の時間なのかを示して下さい。</p>	<p>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。実際の計測箇所は、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>	
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結論付けています。ところで、592個/mm²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</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、市販のフェーズドアレイの最小分解能（1mm）の</p>	井原郁夫

	<p>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/mm²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>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ー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“最先端のフェーズドアレイ装置”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>	
資料5	<p>・ p.53</p> <p>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>そのご理解の通りです。</p> <p>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>	井原郁夫

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。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、研究室内での計測です。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ることが特徴です。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>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>	井原郁夫

		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。	
資料 5	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？	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。 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。 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。	大谷俊博
資料 5 P37-38	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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 	岡部治美

		<p>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>	
資料 5 P39	<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</p>	岡部治美

		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も、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、大きな成果だと思えます。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。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のでしょうか。	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、対象配管の計測箇所によっては、足場組上げや保温材剥離等を要します	岡部治美

		<p>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、どうして火炉壁管を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、火炉壁管を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、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</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</p>	岡部治美

	<p>たな課題に対して活用できるものはありませんか。</p>	<p>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、ϕ数μm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</p>	
--	--------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		<p>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。</p>	
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--