

各実施事業に係る困難事例について

失敗事例・困難事例:1700℃級ガスタービン実証事業

①**現象**: 燃焼器の開発当初、燃焼方式選定のフィルタリングの段階で、リッチ・リーン燃焼方式※(図1、図2)が、想定していたほどNO_x低減が出来なかった。

②**原因推定**: リッチ・リーン燃焼方式による低NO_x化のためには、リッチ領域とリーン領域を急速混合(2~3msec以下)させる必要があったが、混合にかなりの時間(燃焼器の滞留時間10msecほど)を要し(図3)、その間にリッチ領域でNO_xを多量に生成し、当初想定した低NO_xメカニズムが発揮できなかった。

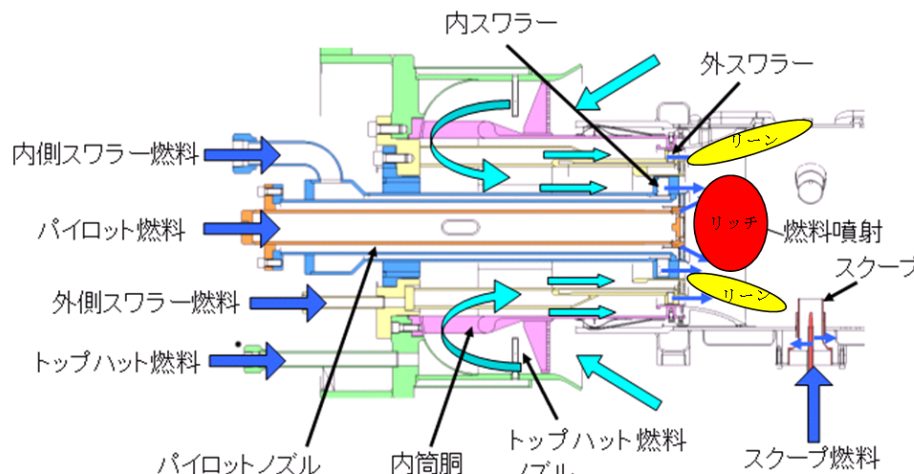


図1 リッチ・リーン燃焼方式

※リッチ・リーン燃焼方式:

燃焼器内にて、NO_x生成が低い、超希薄(リーン)側の予混合燃焼と超過濃(リッチ)の予混合燃焼を領域を分けて形成させ、燃焼後に両者をすぐに混合させることにより、通常の一様均一混合燃焼よりも低いNO_xを達成する方法。

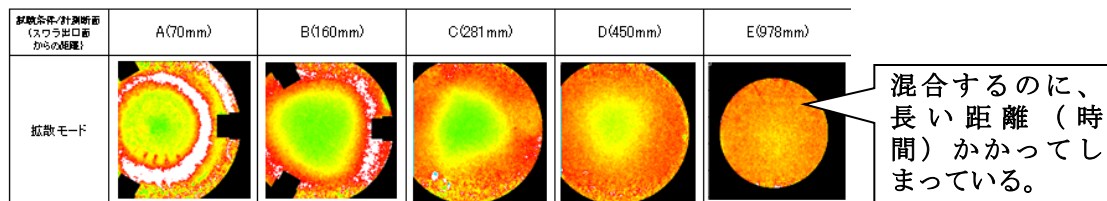


図3 気流試験による、濃度混合計測結果

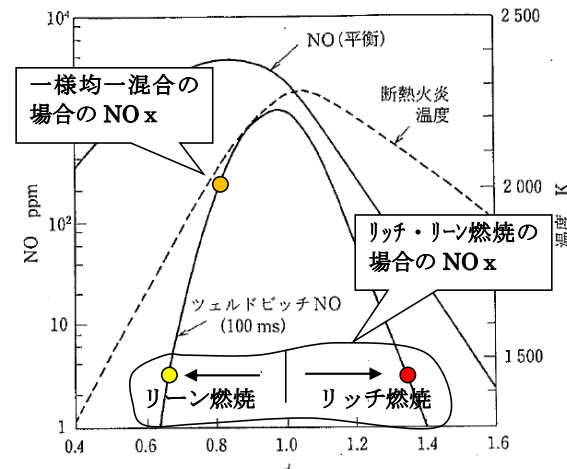


図2 大気圧燃焼試験によるNO_x計測結果

③**対応策**： リッチ領域とリーン領域の混合時間を更に短くすることは、燃焼器の構造的に実現困難であった。そこで、従来の一様均一予混合方式を採用し、EGR比率も採用することで、目標NOx50ppm以下を達成できる見通しがついたため、リッチ・リーン燃焼方式から均一予混合方式を採用するように方針変更した。

④**結果**： 図4の大気圧の試験結果から、予混合燃焼方式が、リッチリーン燃焼方式より、より低いNOxを達成できることを確認した。

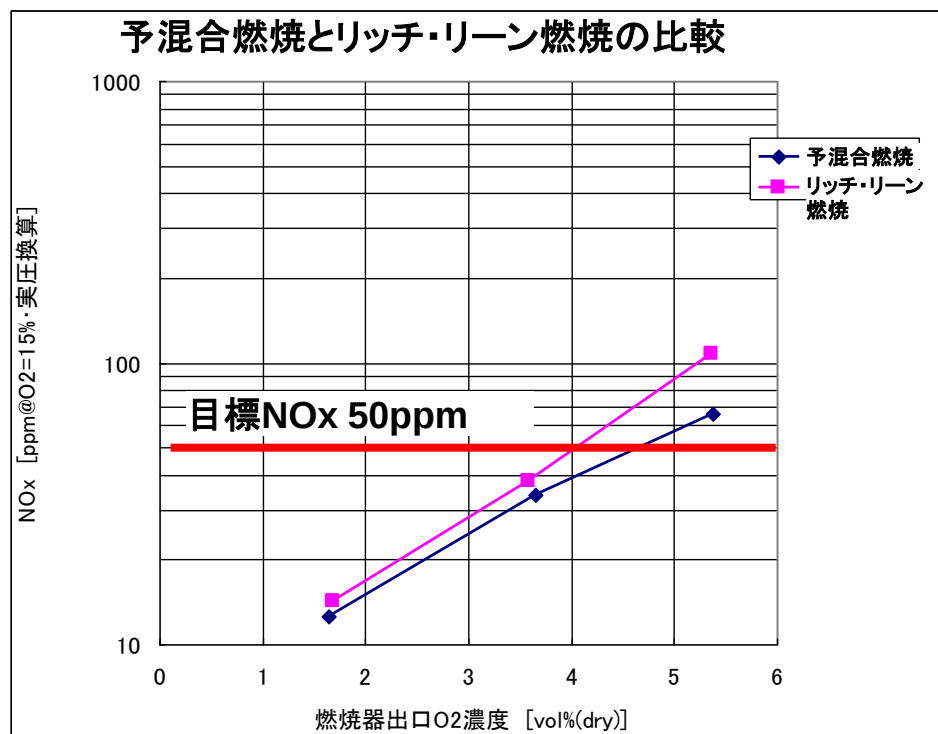


図4 大気圧燃焼試験によるNOx計測結果

高効率ガスタービン技術実証事業(AHAT) 補足説明資料

1. 再生熱交換器の問題と対応

開発の際に発生した問題として、再生熱交換器本体と排ガス入口ダクト間を接続する非金属製伸縮継手での漏洩および損傷が発生した。

ガスタービンから排出される排ガスは、排ガスダクトを通して各熱交換器本体へ分配される。排ガスダクトと熱交換器本体との接続部分には、起動停止及び運転時の熱伸縮や熱衝撃を緩衝する機能が必要なため、排ガスダクトと熱交換器本体の間に非金属製の伸縮継手を取り付けている。伸縮継手は、仕様条件を考慮した伸縮性能、断熱厚さ、接続構造としていたが、40MW 総合試験運転中に伸縮継手部で排ガスの漏洩が確認された。(図 1)

調査した結果、伸縮継手内面のバッフル(導風板)に割れが発生していること、フランジ締結部やフレキ本体取付部の多くでボルトの緩みが発生していることが分かった。

バッフルは溶接組立による一体構造で、フランジ部を設けて排ガスダクトと伸縮継手のフランジ締結部に共締めしているため、バッフルが拘束されてコーナー部分に大きな熱応力が発生する構造であること、フランジとバッフルの共締めによりフランジ締結部のシール性が不足していることが漏洩と損傷の原因と推定した。

それらの対策を織り込んだ改良型伸縮継手の設計を行った。バッフルは、フランジ締結部と分離した構造として、バッフルの拘束を緩和し、フランジ締結部の共締めもなくして締め付け不足を改善した。フレキ本体の構造も見直し、四角断面構造を角丸四角断面構造とした上、複雑な両端フランジ曲げ構造でなく単純な筒状構造に変更してフレキ本体の加工性、その取付部構造を気密性の高い構造に変更した。(図 2)

改良型伸縮継手を 40MW 総合試験設備で使用する再生熱交換器に採用してその効果を確認を行った。改良型伸縮継手では、排ガスダクトと熱交換器本体とのフランジ締結部やフレキ本体締付部でのボルトの緩みは確認されず、改良型伸縮継手部から外部への排ガスの漏洩も確認されていない。

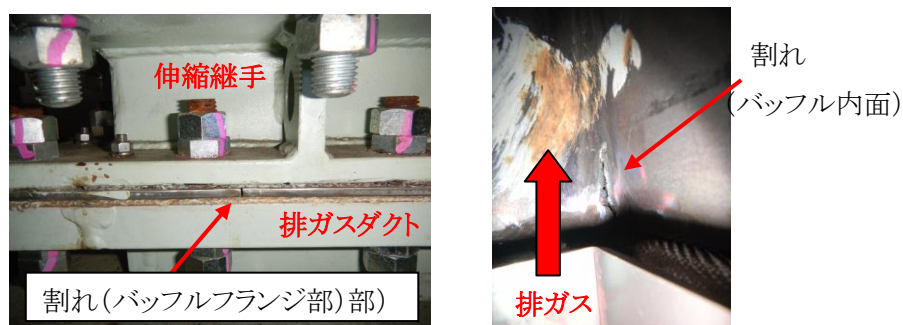


図 1 伸縮継手内面のバッフル(導風板)割れ状況

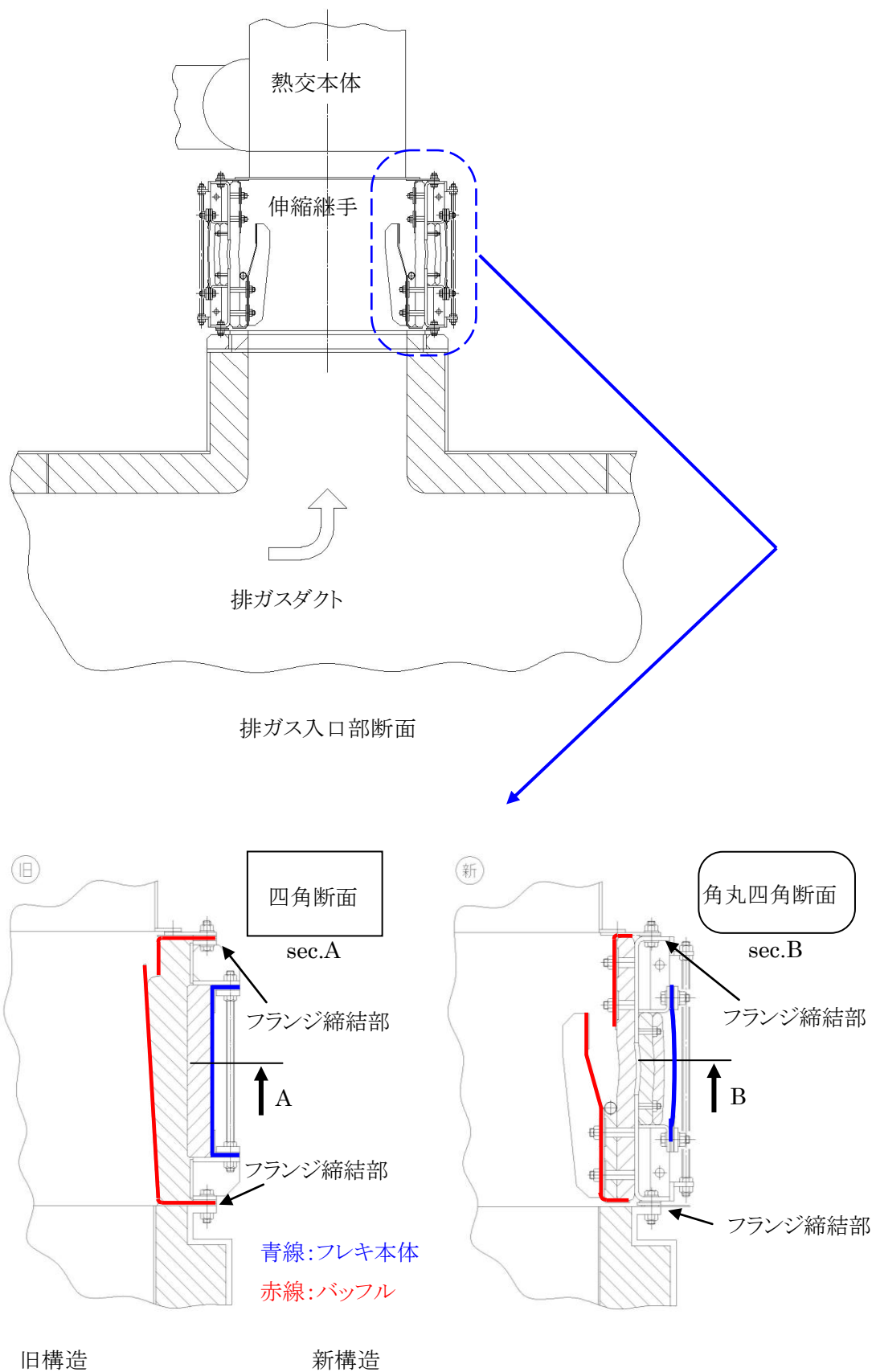


図2 非金属製伸縮継手構造(新旧比較)

2. 加湿管の問題と対応

40MW 級総合試験装置は、事業用の重構造ガスタービンの高温分空気利用ガスタービンへの適用性を検証することが主目的であり、加湿管は、簡易なスプレイ式を採用した。50%負荷までの運転で、スプレイ式の加湿管のドレン発生割合が 40%以上と大きく、加湿量も計画値(出力 20MW の場合 5.7kg/s)よりも少ないことが、負荷上昇のためのクリアすべき課題となっていた。そこで、CFD により、加湿管内部の空気および噴霧液滴の流れを解析したところ、表 1 (左)に示すように、改良前は加湿管入口の拡大部で剥離が発生し、外周部に大きな逆流域が発生していることが推定された。そこで、スプレインズルの上流側に、流れに対して垂直な多孔板(パンチングプレート)を挿入し、空気の流速分布を均等化する改良案を検討した。改良後の流線、全圧分布を表 1 (右)に示す。パンチングプレートを設置すると、下流側における逆流域は大きく縮小し、また、スプレインズルよりも上流側への液滴の逆流は見られない計算結果となった。さらに、液滴が加湿管の内壁面に衝突する割合も、改良前は 46.4%だったものが改良後は 5.1%となり、ドレン発生率の低減が期待される結果となった。

実際に加湿管にパンチングプレートを設置して運転した効果を、改良前と比較して表 2 に示す。同表に示すように、改良後のドレン発生割合は 25%以下に低下し、加湿量(蒸発量)も計画値を上回り、当初計画通りにガスタービンの負荷試験が可能となった。

表 1 加湿管へのパンチングプレート挿入効果の CFD による予測

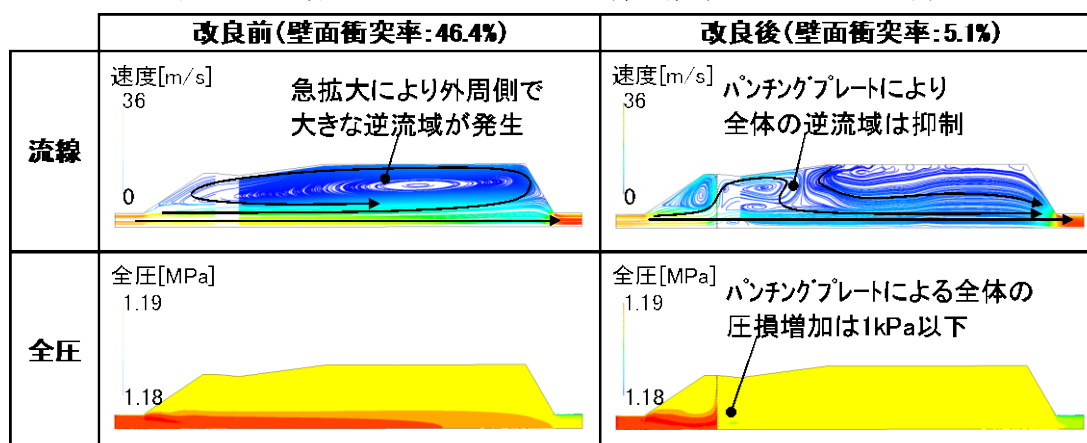


表 2 40MW 級総合試験装置の加湿管の計画時運転条件と運転結果

	項目	単位	2/4 負荷				4/4 負荷		
			計画値	改良前		改良後	計画値	改良後	
条件	流速分布の均等化改良								
	RUN No.	—	—	RUN39	RUN45	RUN52	RUN79	—	RUN73 RUN69
	GT出力	MW	19.6	20.0	20.2	21.5	24.4	37.0	41.1 47.3
	WAC噴霧量(対吸気比)	%	—	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	2.0%	0.7% 1.6%
	スプレイ流量	kg/s	6.9	3.9	6.5	7.9	6.9	8.2	6.8 8.5
結果	加湿量(蒸発量)	kg/s	5.7	3.1	3.8	6.0	5.9	6.8	6.4 7.1
	ドレン発生割合	%	17	22	42	24	15	17	6 17
	加湿管出口空気絶対湿度	kg/kg'	0.092	0.059	0.084	0.123	0.099	0.104	0.092 0.109

困難事例：先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発事業

(1) ボイラ要素技術開発

6種類のNi基合金と3種類の9Cr鋼を試作し、3万時間程度の短時間材料試験を実施した。この試験結果を10万時間まで外挿することにより、目標を達成できる見通しが得られた。今後、実際に10万時間まで試験を継続し、確認をする。

図3-5に試作した候補材料を示す。

HR6W、HR35、Alloy617、Alloy263、Alloy740、Alloy141はNi基合金である。

B-9Cr、SAVE12AD、LC-9Crは耐熱温度を向上した鉄鋼材料である。

図3-6には試作したNi基大径管と小径管を示す。材料加工特性試験を実施した結果、大径管の製造に適した材料としてはHR6W、HR35、Alloy617を選んだ。試作した大径管は曲げ試験、溶接試験等に供された。

図3-7には高周波加熱曲げ加工後のNi基大径管(Alloy617、HR6W)の例を示す。加熱温度を調整した結果、どちらも曲げ加工可能だった。

図3-8にはNi基大径管と小径管(異材溶接)の溶接継手の例を示す。一部に高い溶接割れ感受性を示す材料があったが、概ね良好な溶接施工を行うことができた^{注1}。

図3-9にはこれまで開発してきた大径管、小径管、溶接技術、管曲げ技術を総合的に検証するために製作した伝熱器ヘッダーのモックアップを示す。



図3-5 ボイラ候補材料



図 3-6 試作した Ni 基合金製大径管と小径管

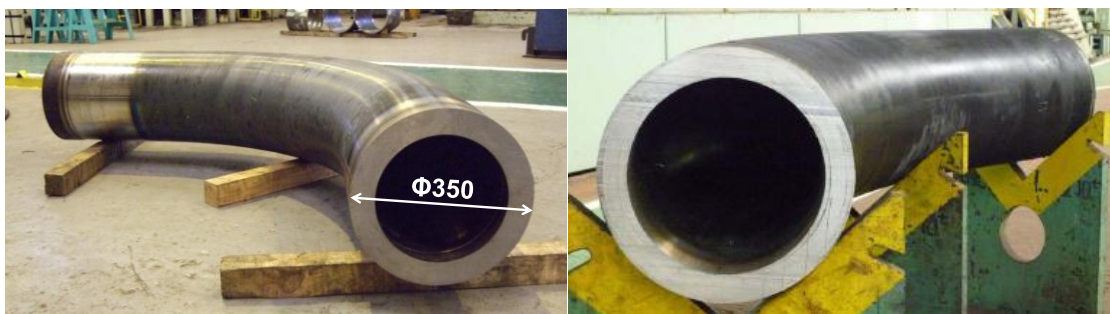


図 3-7 Alloy617 と HR6W の曲げ試験

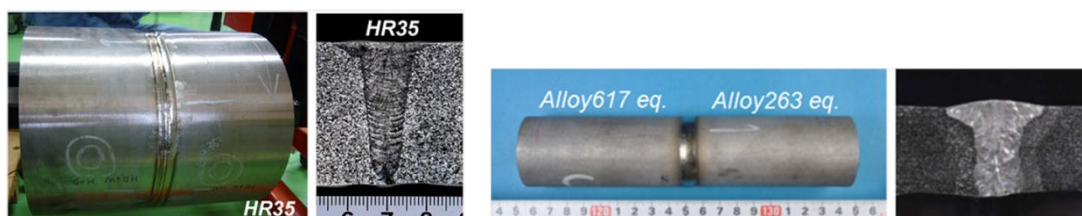


図 3-8 大径管と小径管(異材溶接)の溶接継手



図 3-9 再熱器、過熱器ヘッダーモックアップ

（２）タービン要素技術開発

３種類の Ni 基中型、大型ロータ材料（FENIX700、LTES700R、TOS1X）と３種類の Ni 基中型、大型ケーシング材料（Alloy617、Alloy625、Alloy740）を試作し、３万時間程度の材料試験を実施した。この試験結果を１０万時間まで外挿することにより、目標を達成できる見通しを得た。今後、実際に１０万時間まで試験を継続し、確認をする。

図 3-10 にはロータ試作の代表例として TOS1X の状況を示す。前回中間評価時点では 7 トンの素材の試作が可能だったが、現在では 13 トンまで製作可能である。TOS1X は Alloy617 をベースとして開発され、高い強度を得ている。

もうひとつのロータ材料の例として、LTES700R の線膨張係数を図 3-11 に示す。一般の Ni 基合金よりも低い線膨張係数になるように設計された材料であり、鉄鋼材料（2.25Cr Steel, Conventional 12Cr Steel）と同じレベルの値を有している。そのため、鉄鋼材料と溶接などにより組み合わせたときに発生する熱応力を抑えることができる。LTES700R はもともと小型のボルト用材料として開発された LTES700 を大型ロータ材料向けに改良した材料である。LTES700R の線膨張係数は LTES700 より高くなっているものの従来の Ni 基合金や 2.25Cr 鋼より低いレベルになっている。

タービンロータは一般に 30~40 トンの重量であり、一体の Ni 基合金で製作することは難しい。そのため、Ni 基合金の共材溶接、Ni 基合金と鉄鋼材料の異材溶接技術を開発した。図 3-12 にタービンロータの溶接（異材、共材）試作例を示す。

ケーシング材料については、新たな開発は行わず、既存材料の中で蒸気タービンのケーシング材に最も適した材料の選定を行うこととした。候補としては Alloy617、Alloy625、Alloy740 があり、参加各社で分担し大型鋳物を試作した（図 3-13）。当初は図左側のステップブロックを試作し、これらの材料から切り出した試験片により材料特性評価を行なった。その結果選定された材料で大型の内部ケーシング、ノズルボックスを試作した。

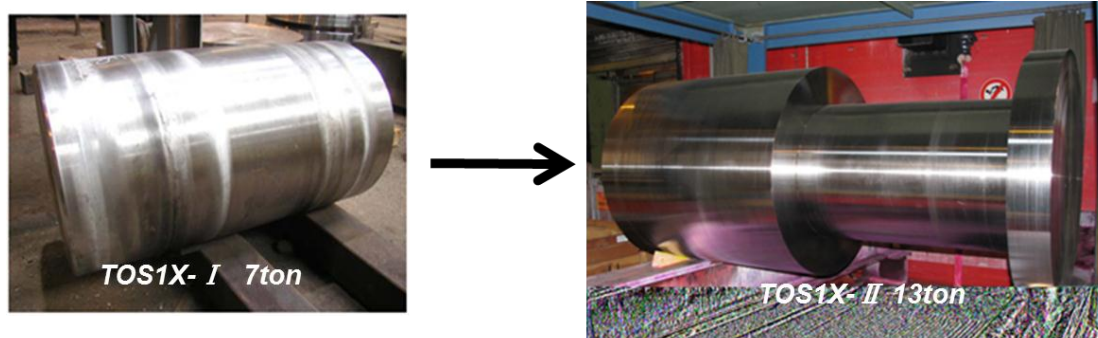


図 3-10 タービンロータ材料の大型化（TOS1X）

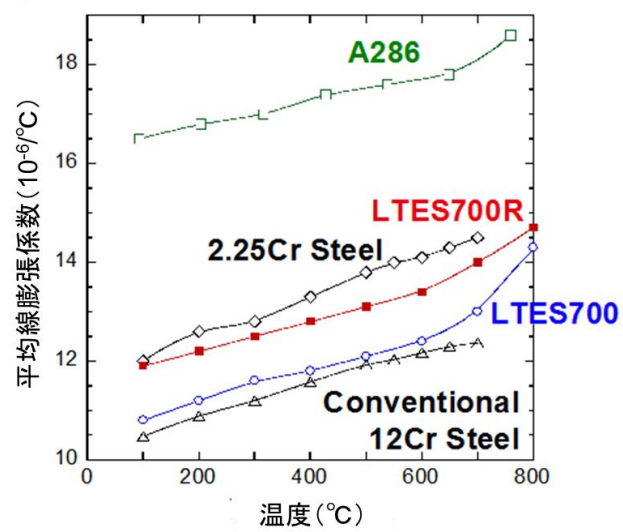


図 3-11 タービンロータ用低熱膨張合金 LTES700R

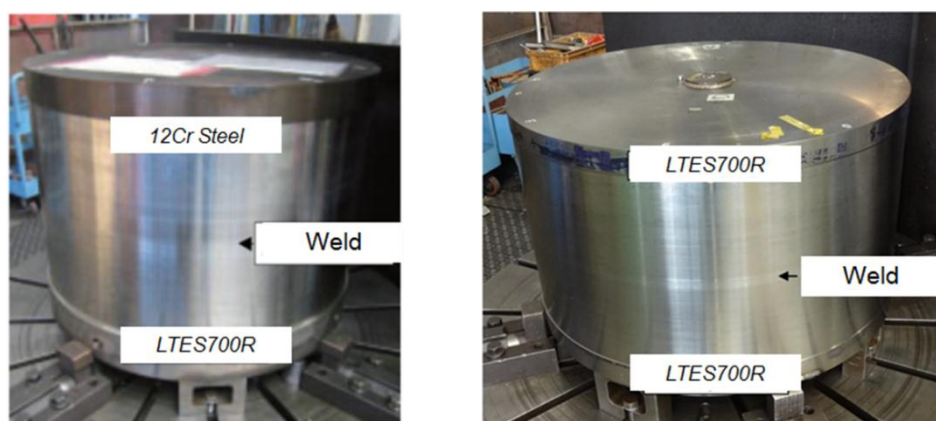


図 3-12 タービンロータの溶接（異材、共材）

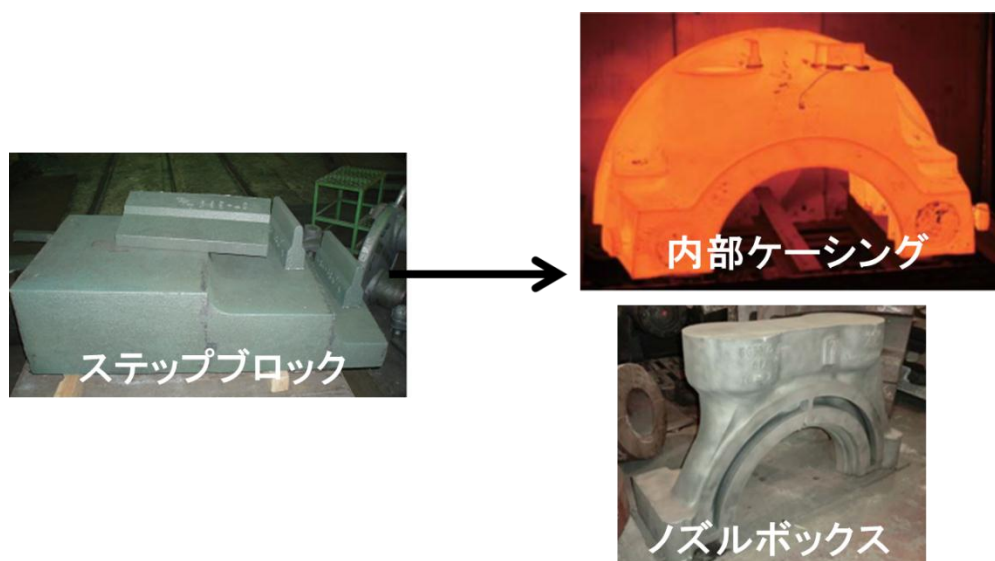


図 3-13 タービンケーシング用 Ni 基鋳物試作

(4) 高温弁要素技術開発

弁材料の摺動試験、水蒸気酸化試験等を実施し、700℃条件下で使用できる材料の組合せがあることを見出した。

実機高温弁の設計を実施し、鋳造による大型弁ケーシングの製造性を確認した。図 3-14 に各種高温弁、図 3-15 に試作された 9 トンの弁ケーシングを示す。

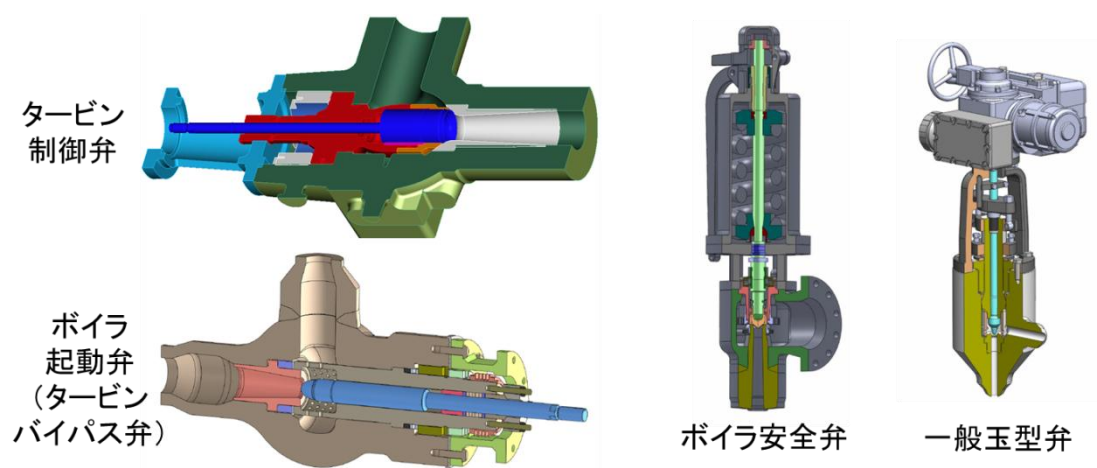


図 3-14 高温弁

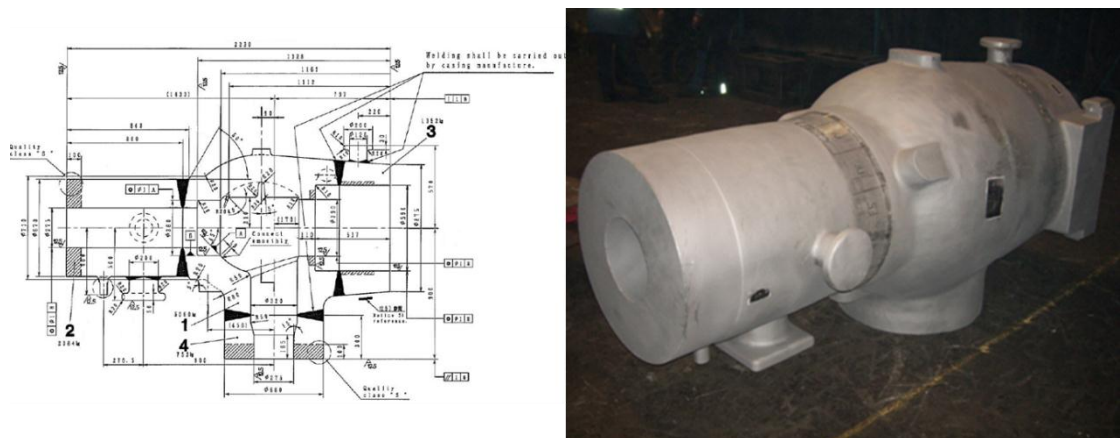


図 3-15 高温弁ケーシング(Alloy625,約 9ton)

(4) 実缶試験・回転試験

実缶試験・回転試験ともに基本設計を実施、完了した。

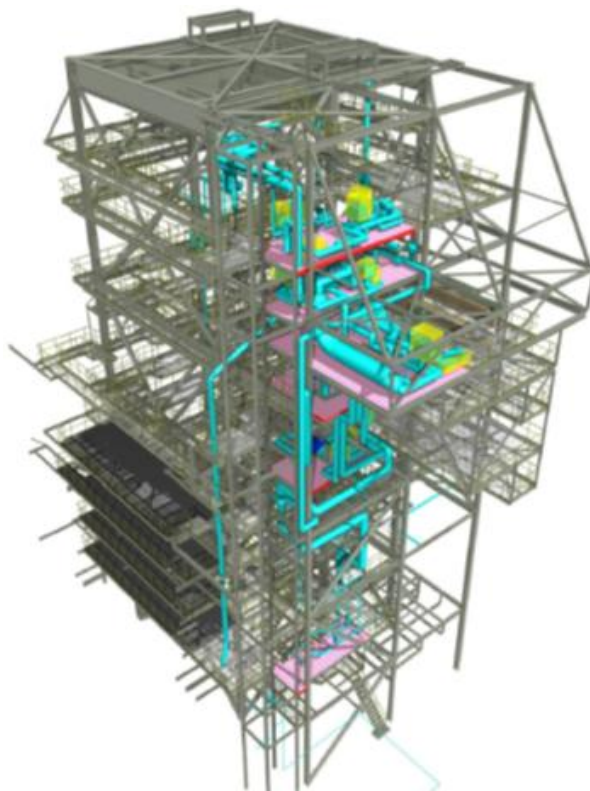


図 3-16 実缶試験装置計画図

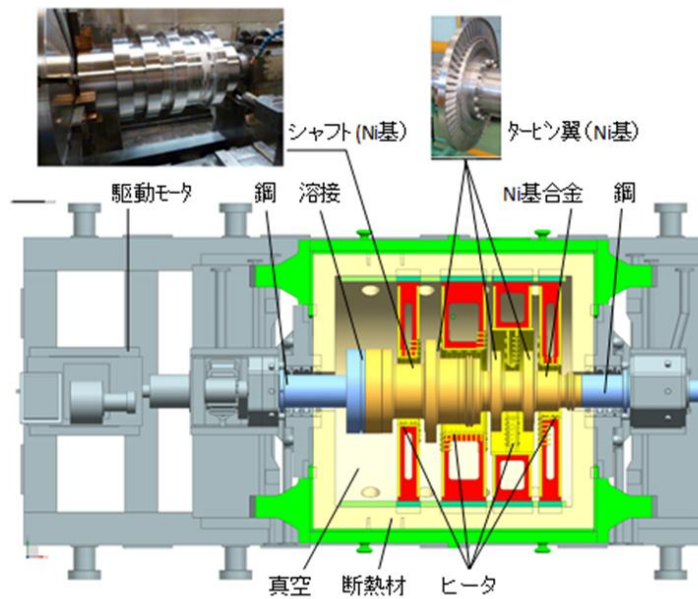


図 3-17 回転試験装置計画図

注 1 : 「一部に高い溶接割れ感受性を示す材料があった」

当初ボイラ候補材料である。Alloy617（大径管）を溶接したところ、下図に示すように溶接部の曲げテストにおいて溶接部に割れが生じた。この材料はクリープ強度を上げるために特別に成分調製されたものだった。溶接割れの結果を受けて、再度成分を調整し溶接試験を重ねた結果、割れを生じない材料成分を見出すことができた。



図 注 1-1 曲げ試験で見出された溶接割れ

イットリウム系超電導電力機器技術開発事業に係る困難事例について

1. 東日本大震災後の計画停電や節電要請により、企業における電力使用が工場の操業に優先的に振り向けられ、真空装置を用いる超電導線材の開発とケーブル等の機器用線材の試作は、数か月単位での遅延が懸念された。

この困難に際して、NEDOとPLが相談して、高性能化研究を予定していた研究開発法人の設備と人材を機器用試作に振り向けることを決断。

これにより、機器用の試作は1か月程度の遅れで済み、最終的に当初のプロジェクト期間内に最終目標を達成した。

2. 東日本大震災後の電力分野を取り巻く環境の激変により、当初想定していた本プロジェクト終了後の、ユーザーである電力会社と共同した長期信頼性等の開発検証の実施が見通せない状況となった。

この困難に際して、NEDOの提案に対して電力基盤整備課様に御理解を得て、海外も含む新たな適用性検討調査を追加的に実施。

本活動を通じて具体的な導入可能性を明確化すると共に、新たな適用方法では、海外の電力会社等からも高い関心を得ることができた。

失敗事例や困難事例

次世代型双方向通信出力制御実証事業

1. 共通仕様について

通信機能付 PCS の開発にあたっては、各法人が各社独自の通信仕様・通信インターフェースを採用した開発済みの PCS を活用することとしていたため、上位のサーバとの双方向通信接続を可能とする「PCS-通信アダプタ」間の共通仕様を取りまとめる必要性が出てきた。このため関係法人で議論し、「PCS-通信アダプタ」間での共通的な電文を作成することとした。その際、家庭用 PCS と産業用 PCS では機能が大きく異なるため、それぞれについて電文を取り決めた。

通信インターフェースについては「RS-485」、「Ethernet」の2種類を採用することでほぼすべての PCS に対応することとした。

また、各社にて共通仕様を取りまとめる際、出力制御の考え方や設計手法の違い等があり、相当の議論が必要であった。共通仕様の取りまとめにあたっては、国際標準等の設計手法やスキルを身につけていることが望ましい。

なお、策定した共通仕様に基づき PCS を開発したが、各法人において仕様の解釈に相違があり多くの不具合が発生し、仕様の見直しを行う必要があった。

2. 機器開発について

PCS は上位システムから出力制限を要求されると配電系統への出力を制限する制御を行うが、出力制御中に日射量が急激に変化した場合、制御に遅れが生じ、要求された出力制限を越えて発電することがある。例えば 50% に出力を制御していても、日射量が急激に増えると、短時間ではあるが、制御遅れの時間（秒単位）内には 50% を超えて発電する。実用に向けては、出力制限を越えて発電する電力の取り扱いや考え方を定義する必要がある。

また、効果的に実証を行うために、上位のサーバと通信アダプタ間の時刻同期は必須要件としていたが、通信アダプタが通信ネットワークから切り離されていることから、時刻同期のズレが発生した。この対応として、簡易的に導入できる携帯電話子局装置を用いて、保守回線として活用するとともに秒単位での制御を実現し、実証を円滑に、効率的に行う上で有用な方策を見出した。

920MHz 帯特定小電力無線については、法改正により実証期間中の 2012 年 7 月より利用が可能となったが、円滑にフィールド試験に移行するため、事前に実験局免許を取得し、限られたエリアで評価実験を行った。

3. フィールド試験について

青森フィールドでは、約 120 世帯にご協力いただき居住環境での実証試験を実施しているが、住民の方々の負担を極力減らすために、事前に路上等で通信確認を実施し、住居への立ち入り回数を最小限に抑えた。また、計測開始後は、住居内に設置した無線機の環境変化を把握することが困難であるため、計測結果の妥当性について判断が難しいケースもあった。PLC の実証試験にあたっては、装置を屋外に設置する必要があるため、前年に積雪の状況を現地で確認したうえで、設置場所を選定し、装置が雪に埋もれない高さにする等、積雪に対応できる構造にした。

他の実証フィールドでは、PV システムの計測データのある時間帯に発電量が減少している事象がみられた。現地確認の結果、周囲にある電柱の陰となることが判明したことから、電柱を移設した。

実証試験前の動作確認において、当初の想定通りに無線装置が動作しない事例があった。この対応として、試験結果の集計方法を変更する必要性が生じたため、予定以上の作業日数を要した。動作検証には、十分余裕を持ったスケジュールを組むことが望ましい。

失敗事例や困難事例

太陽光発電出力予測技術開発実証事業

図 6-1 のように、晴天から急に曇り、P V 出力が急減する場合には、その変化に応じて火力発電機などの出力を増やすことで、需要と供給のバランスを保たなければならない。しかし、新たに火力機を運転する場合は、発電までに時間がかかる。P V 出力の急激な変化を予測することができれば、予め運転する発電機を準備することができ、より安定的な需給運用が可能となる。

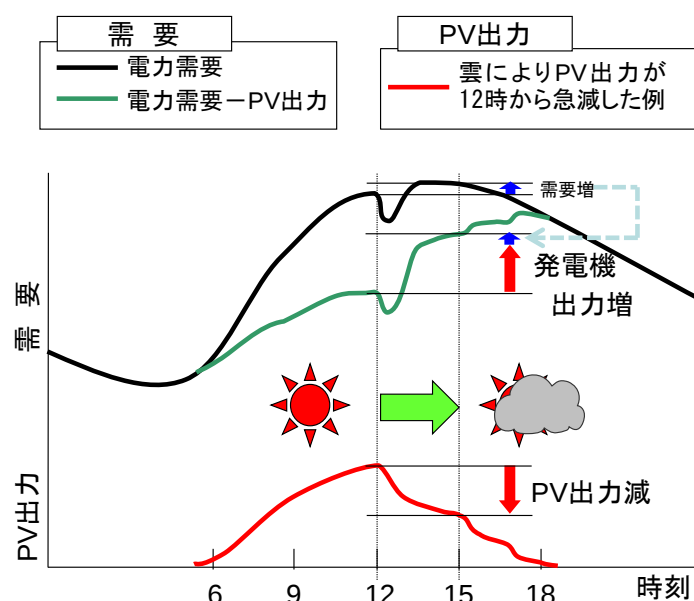


図 6-1 P V 出力の変化に伴う需給運用への影響

P V 出力の急激な変化を予測するためには、図 6-2 に示す①～③のポイントが重要となる。

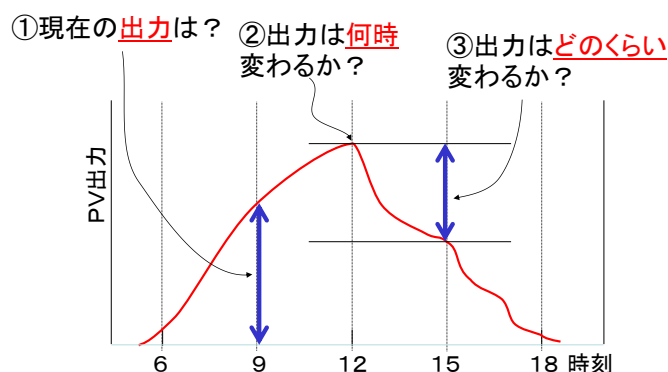


図 6-2 電力需給における P V 出力変化予測のポイント

図 6-2 の「②出力は何時変わるか?」については、P V 出力の増加・減少に合わせて、停止や起動および出力を調整する発電機を選択ができるよう、P V 出力が変化するタイミングを把握したかったが、図 6-3 に示す予測事例のようにか

なり難しいことが判明した。

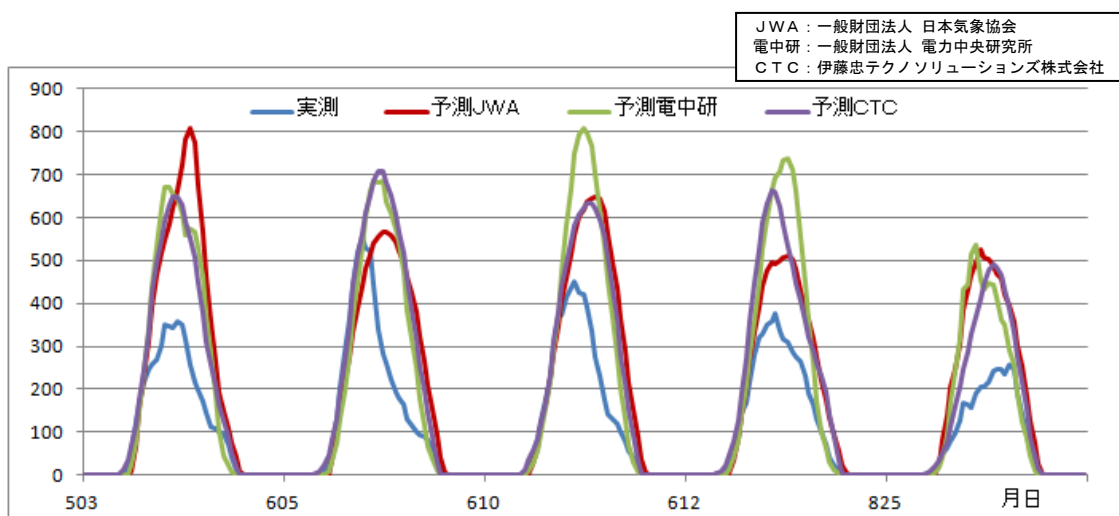


図 6-3 日射予測結果と実測値の比較（予測誤差が大きい日）

そのため、図 6-2 の②のような変化するタイミングを評価することに力点を置くより、各時刻の予測精度を上げることに注力することとし、日射量の予測（課題⑧－４、⑧－５、⑧－６）に取り組んだ。

さらに、予測精度を補完する情報として、図 6-4 のように日射量予測の信頼区間（誤差幅）に関する情報（図 6-4 の「95%信頼区間」「60%信頼区間」のような予測が当たる確率）の検討を進めることとした。

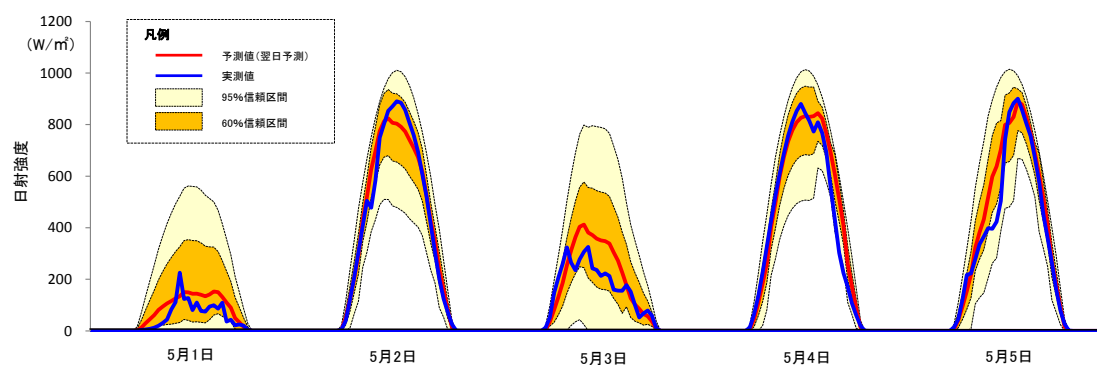


図 6-4 信頼区間予測の例