



## 原子力発電所における新溶接補修技術の 迅速な適用プロセスの検討

### Study on implementing newly developed repair welding technique within a limited time frame for nuclear power plant

関西電力株式会社	平野 伸朗	Shinro HIRANO	Member
関西電力株式会社	瀬良 健彦	Takehiko SERA	Member
関西電力株式会社	千種 直樹	Naoki CHIGUSA	Member
大阪大学工学研究科	于 麗娜	Lina YU	
大阪大学工学研究科	望月 正人	Masahito MOCHIZUKI	Member
大阪大学工学研究科	西本 和俊	Kazutoshi NISHIMOTO	

#### Abstract

For the last couple of years, issue of defects in Alloy 600 weld lowered the capacity factor of nuclear power plants. To apply newly developed repair technique, like temper-bead welding that has not been prescribed in technical standards, it is necessary to evaluate its technical applicability to the requirement. In the previous cases, this process has been completed by issuance of no action letter for specific area and condition, utilizing implementation process, such as confirm testing by JAPEIC and RNP.

This paper clarifies the requirement prescribed in technical standards and extracts issues which need to be resolved before implementation that can not be ensured by the welding qualification and inspection on site. State of welding simulation technique can be employed to resolve these issues. It was concluded that estimation of hardness, microstructure, and fracture toughness by simulation may have potential to reduce time to complete the implementation process.

**Keywords:** Alloy 600, technical standards, temper-bead, RNP, welding simulation

## 1. 緒言

温室効果ガスの削減に向け、二酸化炭素排出量という観点では他の有力な発電方法の追従を許さない原子力発電の重要性がますます高まりを見せている。国大でも2030年の原子力利用率9割越えを目標設定する(2010年6月)[1]等、原子力発電に対する期待は大きい。

しかしながら、その設備利用率は海外と比較して決して高いとは言えない。

Fig.1に関西電力における原子力発電所の設備利用率の変遷[2]を示すが、運転開始直後は初期のトラブルにより利用率は低迷した。その後、加圧水型軽水炉(以下、PWR)においては特に蒸気発生器伝熱管の損傷が多数発生したことにより補修に時間を要するようになり、それが設備利用率にも大きな影響を及ぼした。

こうしたことも踏まえ、関西電力では、補修による被ばくの増大や社会的信頼性の観点も考慮し、蒸気発生器を取替えることとした。また、原子炉容器上蓋や低圧タ

ービン等将来的な経年劣化が予測される大型機器を予防保全的に取替えたことから1998年以降設備利用率は向上し、2002年には90%台を達成した。

しかしながら、2004年は美浜3号機の二次系配管破断事故のため70%程度に低下した。また、600系ニッケル基合金(以下、600合金)溶接金属部での応力腐食割れを非破壊検査で検出する事例が頻発した結果、2008年は72%台とやや低迷しており、以降、溶接部の補修は取り組むべき課題となっている。

PWRにおける600合金溶接部での割れを補修するにあたっては、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める

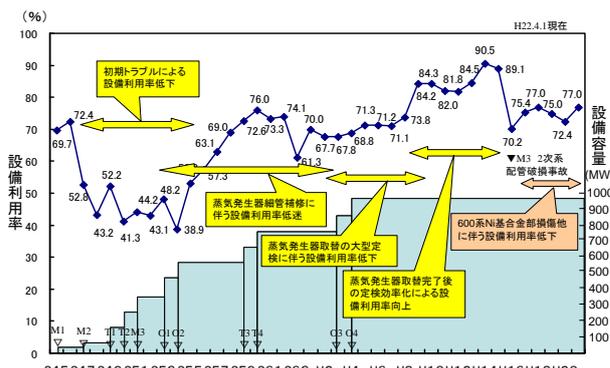


Fig.1 Trend of capacity factor

省令（省令 62 号）」（以下、技術基準）の仕様規格どおりの工法ではなく、技術基準の適合性を改めて確認する必要のある工法のニーズが発生している。

600 合金溶接部のように、全体を取り替えることが、被ばくや大幅な工期を勘案すると必ずしも最適でない場合は、欠陥除去後の溶接補修技術が非常に重要となる。

今後も、技術基準の仕様規格どおりではない工法が必要なケースは発生するものと考えられ、“新溶接補修技術”を迅速に適用するためのプロセスを検討することが必要と考えられる。

本稿では、近年適用の実績が得られたテンパービード溶接工法を検討材料として、“新溶接補修技術”を実機に適用するためのプロセスについて、合理化方策の検討を行った。

## 2. 新溶接補修技術適用プロセス高度化のニーズ

### 2.1 実機事例

2008年に発生した大飯3号機原子炉容器管台溶接部損傷事例では低合金鋼製の原子炉容器管台とステンレス鋼のセーフエンドを接続する 600 合金溶接部で欠陥指示が認められ、欠陥除去の後 690 系ニッケル基合金（以下、690 系合金）の溶接で補修する必要性が生じた。（Fig.2 参照）[3]

溶接に際しては、低合金鋼製の管台へも溶接による熱影響が及ぶため、技術基準の詳細規定である日本機械学会発電用原子力設備規格溶接規格(以下、溶接規格)[4]の規定では溶接後熱処理が必要となる。

しかしながら、プラント停止時に原子炉容器を開放した場合、溶接後熱処理に必要なヒーターの設置箇所へのアクセスルートが水中となるため、ヒーターが設置できず、溶

Schematic diagram of system

RV cross section

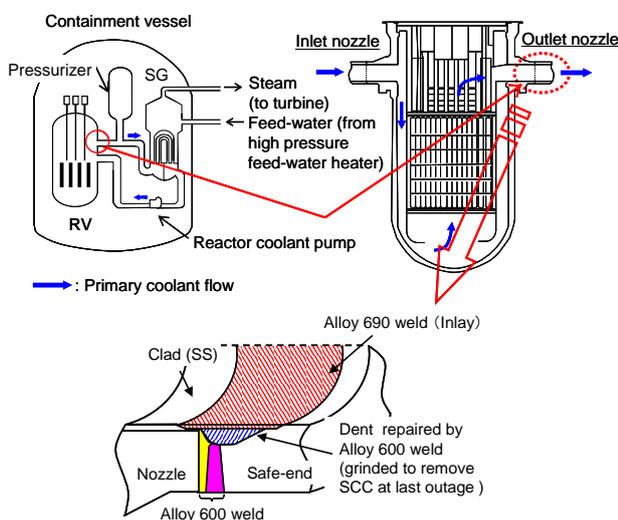


Fig.2 Repair method of Ohi-3 RV nozzle weld

接後熱処理を行わないテンパービード溶接工法を採用した。

本事例においては、適用対象部位を限定し、溶接施工条件を詳細に定めて技術的に問題のないことを確認したうえで技術基準に適合しないものでないことを規制側にも承認いただくというプロセスを経て適用にいたった。

### 2.2 新溶接補修技術が必要となる可能性

Fig.3 に PWR における主要な 600 合金溶接部を示す。

PWR においては、低合金鋼容器とステンレス鋼配管の継手部に 600 合金が多く使用されており、溶接による補修にあたり、構造上、溶接後熱処理が困難な場合等には大飯 3 号機の事例のように熱処理を必要としないテンパービード溶接工法を適用する可能性が否定できない。

一方、テンパービード溶接工法のような“新溶接補修技術”は、技術基準に適合していることの確認に際し、規制側と調整を行う必要が生じる。また、規制側との議論にあたっては第三者機関による技術的な確認が必要となることが想定される。

このような技術的な確認を行うに際し、対象部位を限定し、部位に応じた溶接施工条件、実機施工要領を個別に定め、実機形状を模擬したモックアップ試験を行ったのが大飯 3 号機の事例であった。

今後、既設原子力発電所の活用の観点から、大飯 3 号機の事例で適用したプロセスを高度化し、部位を限定せず適用可能な（汎用）テンパービード溶接工法を適用可能としていく検討は重要なものと考えられる。

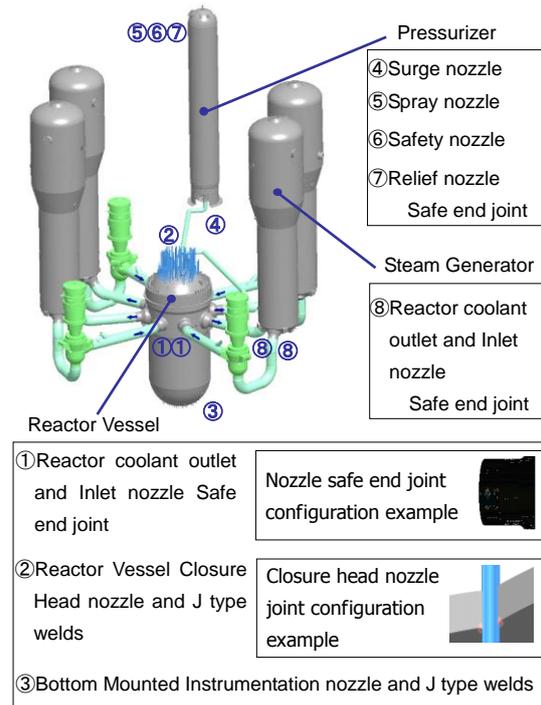


Fig.3 Locations of Alloy 600 in Japanese PWR Reactor Primary Coolant System

### 3. 新溶接補修技術の適用プロセスと課題

#### 3.1 関連する技術基準

原子力発電所では主要機器の耐圧部の溶接部は技術基準に適合することが要求されている。

平成18年1月の技術基準性能規定化以降、その詳細規定として規制当局に指定された日本機械学会発電用原子力設備規格設計・建設規格、溶接規格等に従う技術については技術基準を満足するということが認められた。[5] (Fig.4)

一方、上記規格に基づかない技術を適用しようとする場合、その技術が技術基準に適合することを確認する必要がある。

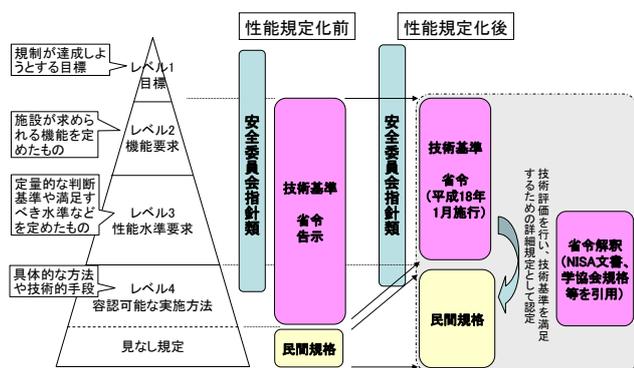


Fig.4 Role of industrial codes after transition of regulatory's requirement to guarantee performance

具体的には、原子力安全・保安院より発出されている省令の解釈の中で詳細規定（溶接の場合、溶接規格）によらない場合は“十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠がある場合は省令（技術基準）に適合する”旨記載されている。つまり、テンパービード溶接工法は溶接規格で要求されている残留応力低減、組織改善等を目的とした溶接後熱処理を実施しないことから“十分な保安水準の確保が達成されており、

技術基準に適合している”ことを確認する必要がある。

#### 3.2 溶接事業者検査について

現状、600合金溶接部のような原子炉圧力バウンダリ（耐圧部）を溶接する場合は、電気事業法に基づき、設置者が溶接事業者検査を実施し、適用する溶接施工法や溶接士が溶接規格に適合するものであることを確認する必要がある。

また、実機施工時にも溶接施工した構造物に対する検査が要求されている。[6] (Fig.5)

#### 3.3 適用プロセスと課題

溶接事業者検査では全ての検査は溶接規格に基づき実施することで技術基準適合性が確認される。汎用のテンパービード溶接工法の場合、十分な保安水準の確保が達成できることを確認するプロセスは大きく以下の3つが考えられる。

##### (i) 特殊設計認可

省令62号第3条に基づき“省令の規定によらない”溶接施工方法として国の許認可を得る方法であるが、基本的に工事の予定が伴う場合に申請することから一定の期間を要する。

##### (ii) RNP (Review of New Procedure for Technical Standards of Electric Facilities)

新保全技術適合性検討作業会の略称であり、原子力安全・保安院(NISA)が設置し、原子力安全基盤機構(JNES)が事務局を担当している会議体である。設置目的は、「今後導入が見込まれる新たな保全技術や検査技術についてNISAが積極的に情報収集を行い、その適用性や許認可手続き上の位置付け等について余裕をもって事前検討し、より円滑な導入環境を整備し、原子力発電所の予防保全の迅速かつ着実な実行を可能とすることが必要である。」

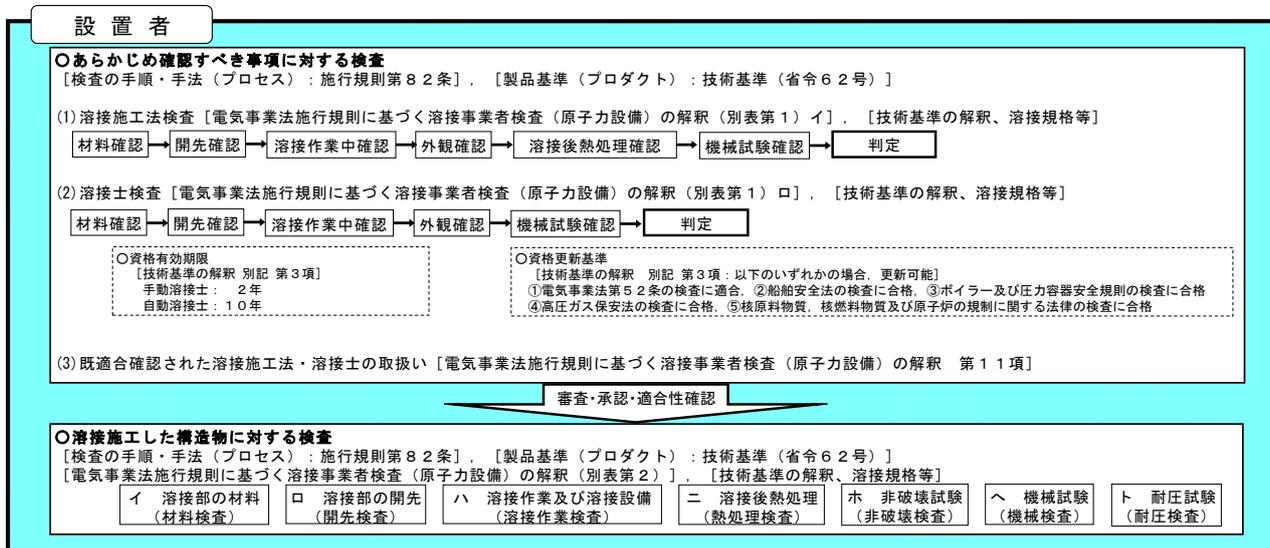


Fig.5 Contents of weld inspection by owners

とされており[7]、(i)と異なり技術基準適合性や適用方法についてあらかじめ審議をしておくことが可能である。

なお、確性試験により技術的妥当性を確認した技術について、RNP 審議後、ノーアクションレターにより公知化を図るといったプロセスが確立している。[8]

(iii) 規格改定及びエンドース

技術基準の詳細規定である日本機械学会規格を改定し、規制側のエンドースを得る方法である。技術基準性能規定化以降の“王道”であるが一定の期間を要する。以上のように主に3つの適用プロセスがあるが、(i)は事象が発生した後の対応となることから、(ii)あるいは(iii)により事前に確認をする方法がより合理的である。

いずれの場合も適用したい新溶接補修技術が溶接規格に規定されている方法によらなくても“十分な保安水準の確保が達成できる”必要がある。

前項で述べた、大飯3号機でのテンパービード溶接工法適用事例は個別部位の対応となっており、適用までのプロセスは確立されたものの、汎用的な技術開発及び効率的な実機適用の実現に向けては、まだ検討の余地があ

ると考えられる。

以降では、今後適用の範囲が広がる可能性のあるテンパービード溶接工法を念頭に置き、適用プロセスにおいて、効率的に“技術基準適合性”を確認するための方法の検討を行った。

#### 4. 技術基準（溶接規格）の要求事項等について

##### 4.1 要求事項に対する適合性の解釈

効率的に“技術基準適合性”を確認するための方法を検討するにあたっては、技術基準及びその詳細規定である溶接規格の要求事項を明確にするとともに、要求事項への適合性がどのように解釈され、確認されるかを整理しておく必要があると考え、整理を行った。

解釈等を整理した結果を Fig.6.1 および 6.2 に示す。

また、上記の要求事項への適合性は、施工にあたっての検査（溶接事業者検査）で確認できるものとそうでないものに区分されることがわかった。

技術基準を定める省令 (第9条第15号)の規定	省令の解釈での規定	溶接規格 (及び設計・建設規格) の規定	テンパービード工法における適合性	溶接事業者検査 での確認可否 ○:可能 △:直接的な確認は不可 -:対象外
十五 クラス1容器、クラス1管、クラス2容器、クラス2管、クラス3容器、クラス3管、クラス4管及び原子炉格納容器のうち主要な溶接部(溶接金属部及び熱影響部をいう。)は、次によること				
イ 不連続で特異な形状でないものであること	第15号イに規定する「不連続で特異な形状でないもの」とは、溶接部の設計において、溶接部の開先等の形状に配慮し、鋭い切り欠き等の不連続で特異な形状でないものをいう。	N-1010 溶接部の設計 (PVB-4200)	現状想定されるクラス1容器の異材継手部を補修する場合の肉盛溶接は、溶接規格における溶接部の設計では、「肉盛溶接の継手」に該当する。当該溶接部の開先等の形状は肉盛溶接に悪影響のない、切欠き等の不連続で特異な形状とならないように加工することを溶接事業者検査を確認する。以上のことから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
		N-1060 突合せ溶接による継手面の食違い	突合せ継手に対する規定であり、異材継手の補修溶接においては適用外である。	-
		N-1070 厚さの異なる母材の突合せ溶接	厚さの異なる母材の突合せ溶接に対する規定であり、異材継手の補修溶接においては適用外である。	-
ロ 溶接による割れが生ずるおそれなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを非破壊試験により確認したものであること	第15号ロに規定する「溶接による割れが生ずるおそれなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを非破壊試験において割れがないことに加え、溶接時の有害な欠陥により割れが生じるおそれがないことをい、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないこと」とは、溶接部の設計及び形状が溶込み不足を生じがたいものであり、溶接部の表面及び内部に有害な欠陥がないことをいう。	N-1010 溶接部の設計 (PVB-4200)	現状想定されるクラス1の異材継手肉盛溶接は、溶接部の設計および形状について溶込み不足を生じがたいよう考慮する。溶接事業者検査で確認する。	○
		N-1020 溶接の制限	炭素含有量が、0.35%を超えない母材であることを、溶接事業者検査で確認することから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
		N-1030 開先面	当該溶接部の開先面およびその付近の必要な部分は溶接に先立ち水分など、その他有害な異物を除去した上で、規定の検査(目視試験、PT)を実施し、溶接事業者検査で確認することから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
		N-1040 溶接部の強度等(2) (有害な欠陥のないこと)	当該溶接部に対して溶接後の非破壊試験を実施し、溶接部の表面及び内部に有害な溶接欠陥のないことを確認することから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○

Fig.6.1 Applicability of temper-bead welding to requirement of Technical Standards and JSME Code for rules on Welding (1/2)

技術基準を定める省令 (第9条第15号)の規定	省令の解釈での規定	溶接規格 (及び設計・建設規格) の規定	テンパービード工法における適合性	溶接事業者検査 での確認可否  ○:可能 △:直接的な確認は不可 -:対象外
十五 クラス1容器、クラス1管、クラス2容器、クラス2管、クラス3容器、クラス3管、クラス4管及び原子炉格納容器のうち主要な溶接部(溶接金属部及び熱影響部をいう。)は、次によること				
ロ 溶接による割れが生ずるおそれなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを非破壊試験により確認したものであること	第15号ロに規定する「溶接による割れが生ずるおそれなく」とは、溶接後の非破壊試験において割れがないことに加え、溶接時の有害な欠陥により割れが生じるおそれがないことをいい、「健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないこと」とは、溶接部の設計及び形状が溶込み不足を生じがたいものであり、溶接部の表面及び内部に有害な欠陥がないことをいう。	N-1050 クラス1容器の溶接部(1) 〔非破壊試験の実施要求〕	当該溶接部に対して溶接後の非破壊試験として表面試験としてのPT及び体積試験としてのUTを実施し、溶接部の表面及び内部に有害な溶接欠陥のないことを確認する。溶接事業者検査で確認することから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
		N-1080 継手の仕上げ	当該溶接部が滑らかで、母材の表面より低くなく、かつ母材の表面と段がつかないように仕上げを行うことを溶接事業者検査で確認することから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
		N-1090 溶接後熱処理	低合金鋼(P-3)部に溶接後熱処理を行わない工法は溶接規格に規定がなく、当該溶接部の施工後の強度を直接的に確認できないことから、後熱処理を行わなくても同等の効果を確保し、十分な保安水準を確保できることを溶接事業者検査前にあらかじめ証明する必要がある。	△
		N-1100 非破壊試験 (非破壊試験の方法)	当該溶接部に非破壊試験を行う場合は、本規定に従った試験を行うとともに溶接事業者検査で確認することから、溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
ハ 適切な強度を有するものであること	第15号ハに規定する「適切な強度を有する」とは、母材と同等以上の機械的強度を有するものであることをいう。	N-1040 溶接部の強度等(1)	適切な溶接施工がなされていることを溶接事業者検査で確認可能であるが、熱処理を行わなくても、母材と同等以上の機械的強度を有する溶接部とすることができることを、直接的に確認できないことから溶接事業者検査前にあらかじめ証明する必要がある。	△
		N-1050 クラス1容器の溶接部(2)機械試験	肉盛溶接は機械試験の要求はない。 (なお、溶接事業者検査のうち溶接施工法確認試験(溶接施工法検査)において溶接規格第2部溶接施工法認証標準に規定される機械試験(継手引張試験他)を実施する。)	-
		N-1110 機械試験	現状想定している肉盛溶接は現地での機械試験の要求はない。 (なお、溶接事業者検査のうち溶接施工法確認試験(溶接施工法検査)において溶接規格第2部溶接施工法認証標準に規定される機械試験(継手引張試験他)を実施する。)	-
		N-1120 再試験		-
		N-1130 耐圧試験	実機の耐圧試験で確認を行い、溶接事業者検査で確認することから溶接規格に適合していることは証明可能である。	○
ニ 機械試験等により適切な溶接施工法等であることをあらかじめ確認したものであること	第15号ニに規定する「適切な溶接施工法等であることをあらかじめ確認した」とは、溶接施工法、溶接設備及び溶接士技能について適切であることをあらかじめ確認したものをいい、当該溶接施工法等による溶接施工について、機械試験等により確認するものとす。	N-0030 溶接施工法第2部 溶接施工法認証標準	溶接規格第2部溶接施工法認証標準を踏まえ、溶接事業者検査のうち溶接施工法確認試験(溶接施工法検査)により、あらかじめ技術基準への適合性を確認した溶接施工法を適用する。	○
		N-0040 溶接設備	テンパービード溶接で用いるティグ溶接に適した設備を用いていることを溶接事業者検査で確認する。	○
		N-0050 溶接士第3部 溶接士技能認証標準	溶接規格の第3部の溶接士技能認証標準で認証された、確性試験で確認された溶接方法を行える溶接士で、かつ資格が有効期限内にあることを、溶接事業者検査で確認した上で溶接を行う。	○

Fig.6.2 Applicability of temper-bead welding to requirement of Technical Standards and JSME Code for rules on Welding (2/2)

#### 4.2 あらかじめ確認すべき項目

前項において、要求事項への適合性は、施工にあたっての検査(溶接事業者検査)で確認できるものとそうでないものに区分された。

たとえば、開先面の確認(N-1030項)、溶接施工部に欠陥のないこと(N-1050(1)項)、圧力に耐えること(N-1130項)等については、直接的に溶接事業者検査で確認できる。

一方、「溶接後熱処理」の要求事項(N-1090項)への適

合性は、溶接後熱処理の目的である残留応力の低減、硬さの低減、靱性の回復、組織の改善の達成が確認される必要がある。

このうち残留応力については、そもそもテンパービード溶接工法は、技術的に溶接残留応力低減効果は期待できないものであり[9]、日本機械学会発電用原子力設備規格維持規格補修章解説RB-2310-1[10]でも「残留応力の低減は期待できない」とされている。

したがって、大飯3号機の事例ではテンパービードに

よる残留応力低減という議論は無く技術基準適合性が確認されており、溶接後熱処理による残留応力の改善、適合性確認（検査）の対象外と考えることができる。

よって硬さの低減、靱性の回復、組織の改善がN-1090項で確認すべき項目であると整理できる。これらは直接的に溶接事業者検査で確認できないことから、あらかじめ確認しておく必要がある。

また、「強度」の要求事項（N-1040(1)項）への適合性についても、当該溶接部が母材と同等の強度を有することは、直接的には溶接事業者検査では確認できない場合もあることから、あらかじめ確認しておく必要がある。

ここで、N-1040(1)項が要求している強度は、具体的にはN-1110項により機器の区分に応じて機械試験が要求され、施工現場で試験片を作成して確認される。

一方、テンパービード溶接工法を適用した実績であるクラス1容器（管台）の部分補修部は、溶接規格の継手区分A～Dには区分されず、溶接規格解説で、これら以外の継手として“肉盛り溶接の継手”と例示されている。この区分では、施工現場での機械試験要求が無く、溶接事業者検査では強度は確認されない。

そこで、肉盛り溶接より要求事項が厳しい管台の周方向継手である“継手区分B”として考えた場合は、要求される機械試験は破壊靱性試験となっている。つまり、強度への要求事項（N-1040(1)項）に適合するには、靱性が十分であることをあらかじめ確認すればよいと考える。

以上より、N-1090項、N-1040(1)項の要求事項を満足するためには硬さの低減、靱性の回復、組織の改善について、あらかじめ確認できれば、“十分な保安水準の確保が達成できる”ことを確認でき、技術基準に適合していると考えることができる。

## 5. 技術基準適合性確認の合理化検討

### 5.1 合理化が見込める作業の抽出

3.3項において、テンパービード溶接工法の適用範囲が広がることを念頭に置き、効率的に技術基準適合性確認を行う方法の検討の必要性を挙げた。

前項の検討より、テンパービード溶接工法の技術基準適合性確認にあたり、あらかじめ確認すべき事項が整理できたため、これらを合理的に確認する方策について検討した。

テンパービード溶接工法の研究・開発からノーアクションレターという新溶接補修技術適用に関する一連の行

為（Fig.7）について検討した結果、技術的検証は、同じ要素技術でありながら、部位（開先）形状を限定して試験片を作成することにより確認を行っており、その進め方には合理化の可能性があると考えた。

また、技術的検証が部位（開先）形状を限定して実施されていることから、RNPにおける技術基準適合性の審議、ノーアクションレターによる公知化についても、現状では、部位（開先）形状が変わる毎に実施される必要があり、同様に合理化の可能性があると考えられる。

したがって、部位を限定せずに技術的検証を実施できる代替手法を確立しておくことは、技術基準適合性確認の合理化検討にあたって有効なものと考えた。

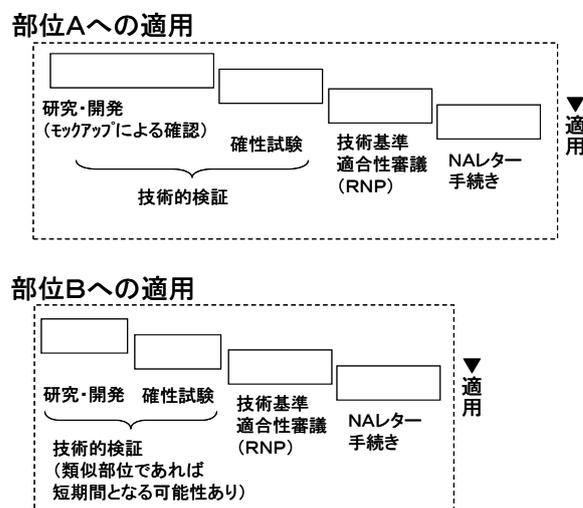


Fig.7 Present sequential action to apply new welding technique (image)

これまで、テンパービード溶接工法が、部位（開先）形状を限定して技術的検証、および技術基準適合性の審議がなされている主たる理由は、溶接された部位（溶接金属部、熱影響部）の性状には溶接される側（母材）の影響が大きく及ぶと考えられているからである。

すなわち、板厚や開先の形状が異なれば、同じ入熱を与えても熱の伝導状況が異なり、溶接金属部、熱影響部の組織等の変化度合いが異なると考えられているからである。

したがって、適用対象部位の板厚や開先形状が変化した場合であっても、溶接された部位の組織等の変化度合いを効率的に把握でき、硬さの低減等を証明することができれば、適用プロセスの合理化につながると考えた。

このようなパラメトリックな検討には、近年進歩の著しいシミュレーション技術が活用できると考えた。

## 5.2 溶接現象に対するシミュレーションの技術動向について

溶接は金属材料学、冶金学、化学工学等関係する要素が複雑に絡み合う事象であり、かつては産業界で主に技能として蓄積されてきたこともあり定量的な溶接現象の評価が行われるようになったのは比較的近年のことである。しかしながら、最近ではコンピュータの演算能力の飛躍的な向上により熱移動、物質移動が正確にシミュレーションできるようになったことから、溶接後の溶接部の硬さ等についてもシミュレーションによる評価が可能となっており、著者らの研究[11]では、ニューラルネットワークを用いたテンパービード溶接シミュレーションにより焼き戻し効果の予測が可能であることが報告されている。

著者らは、テンパービード溶接工法における焼き戻し効果をラーソン・ミラーパラメータ (LMP) を溶接熱サイクル過程に拡張した Thermal Cycle Tempering Parameter (TCTP) を用いて整理することを提案している。

テンパービード溶接工法による熱サイクルにおいて熱影響部の初期硬さは、Ac1 温度を超えるピーク温度 (Tp) および冷却速度 (CR) から材料毎に決まり、また、以降の熱サイクルにより付与される焼き戻し効果については、当該熱サイクル (Ac1 温度以下のもの) の TCTP で整理できる。(Fig.8)

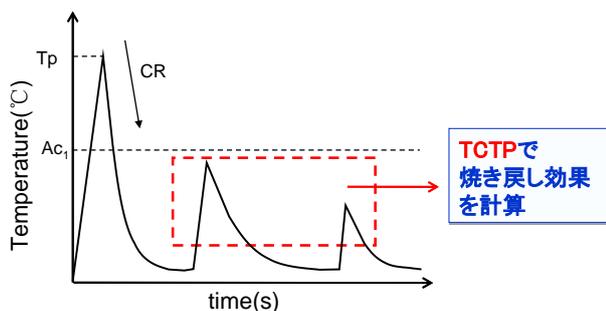


Fig.8 Method of thermal cycle temper parameter

著者らは A533B について Tp, CR, TCTP と硬さの関係をデータベースとして整備しており、上記のパラメータを用いてニューラルネットワークにより、溶接熱影響部の硬さ分布が推定できるとしている。なお、入熱が付与された場合の構造物の温度推定は FEM 解析により行う。(Fig.9)

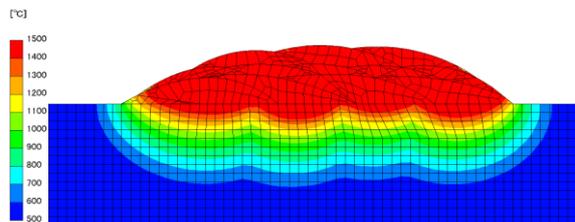


Fig.9 Example of estimation of temperature distribution by FEM calculation

Fig.10 に、本手法の検証試験結果の例を示す。3層の溶接を行った試験体を作成し、計測した硬さと本手法により推定した結果とを比較した結果、推定値と実測値の間には良好な対応関係が見られ、熱影響部の硬さ予測への適用性の可能性が示されている。

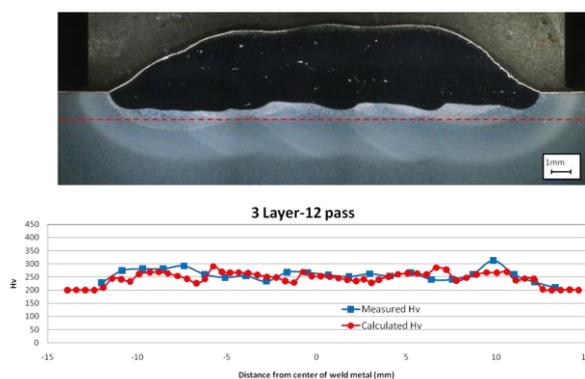


Fig.10 Comparison between estimated Hv and measured Hv

今後、靱性や組織についても同様にシミュレーションを活用した予測手法が詳細に検討されていくことを踏まえ、次項以降で溶接シミュレーションを活用した汎用テンパービード溶接工法適用までのプロセス合理化モデルについて検討した。

## 5.3 溶接シミュレーションによる新溶接補修技術の技術基準適合性確認モデルの確立

現在までの実績からは適用部位が変われば研究・開発からノーアクションレターまでのプロセスを繰り返す必要がある。一方、これまでの検討結果から、熱処理を実施しないことに対して技術基準上の要求事項を明確化したうえで、同等の保安水準の確保の達成を確認する手法として溶接シミュレーションを用いることについて提言を行った。

つまり、テンパービード溶接工法のような多重熱サイクルが熱影響部に与える影響を溶接シミュレーションにより評価し、溶接補修後の硬さ等を予測することが現状の技術水準から可能であると考えられることから、その評価手法そのものを検証しておけば対象部位が変わっても効率的に技術基準適合性確認行為を行うことが可能と考える。

具体的な技術基準適合性確認モデルのイメージをFig.11に示す。部位ごとに技術基準適合性確認プロセスを繰り返す現状の適用方法に対して、今後の展望ではシミュレーション手法を検証しておけば、対象部位が変わっ

ても事業者の自主確認により技術基準適合性が確認できることとなり、大幅な合理化を図ることができる。

さらにシミュレーションの活用により研究・開発段階で労力を要していた溶接条件の確立についても迅速に行えることが予測され、その点についても合理化が図れることになる。

なお、本プロセスの確立は、具体的には、シミュレーション手法の妥当性をRNPに付議して規制側とも合意しておく(プロセス(ii))、あるいは機械学会規格を作成し、規制側にエンドースしてもらうこと(プロセス(iii))で行うことが考えられる。

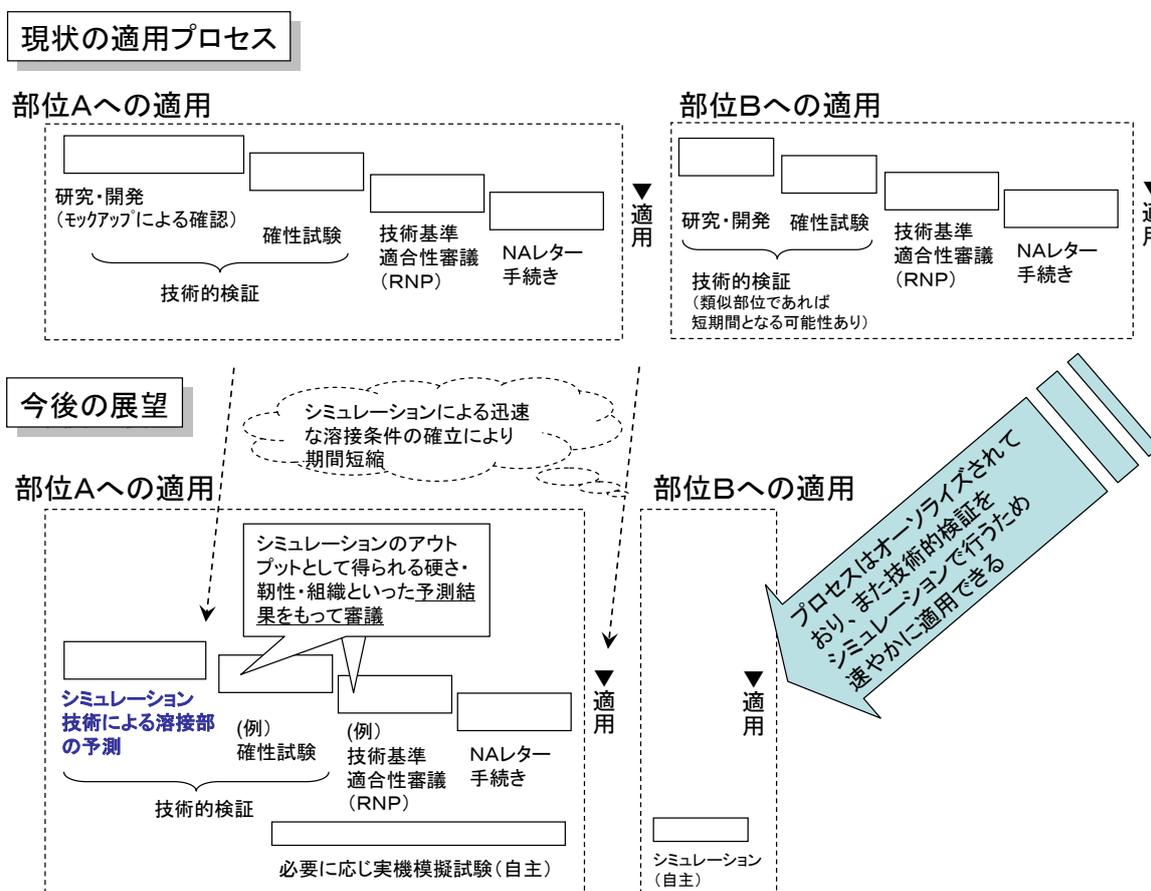


Fig.11 Proposed technical evaluation system to apply new welding method to qualify for regulatory standards employing welding simulation

## 6. 結言

(1) 適用部位によらない汎用テンパービード溶接工法を念頭に、新溶接補修技術が適合すべき技術基準上の要求事項を明確化した。

- (2) 技術基準適合性確認プロセスを迅速に進めるためには、要求事項への適合性を確認する手法そのものの妥当性を検証しておくことが有効である。
- (3) 溶接シミュレーションは技術基準適合性を確認する手法として可能性がある。

## 参考文献

- [1] 経済産業省“資源エネルギー政策の見直しの基本方針”(2010.6)  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100608a08j.pdf>
- [2] 松永“加圧水型原子炉 (PWR) 主要機器の保全活動と学協会への期待” 第7回保全学会学術講演会要旨集 (2010.7)
- [3] 市木、岩橋、寺田、中村、山本 “大飯発電所における原子炉容器出口管台予防保全対策工事の実施について” 第7回保全学会学術講演会要旨集 (2010.7)
- [4] 日本機械学会発電用設備規格溶接規格2007年版 (JSME S NB1-2007)
- [5] 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子力安全基盤小委員会 (第9回) 資料3 (2008.6)
- [6] 経済産業省 原子力安全・保安院 “電気事業法第52条に基づく原子力設備に 関する溶接事業者検査ガイド” 平成21・04・28原院第3号、NISA-169a-09-2 (2009.5)  
<http://www.nisa.meti.go.jp/oshirase/2009/files/210501-6-3.pdf>
- [7] 前川、菅野 “新保全技術の技術基準への適合性確認について” 第6回保全学会学術講演会要旨集(2009.8)
- [8] 平野、瀬良、千種、沖村、西本“原子力発電所における新保全技術としてのテンパービード工法の開発・適用” 保全学vol9.No.4 (2011.1)
- [9] 日本溶接協会HP 接合・溶接技術Q&A1000 Q-10-07-02
- [10] 日本機械学会発電用原子力設備規格維持規格2008年版(JSME S NA1-2008)
- [11] 于、仲林、才田、望月、西本、亀山、平野、千種“低合金鋼多層盛 溶接部におけるテンパー効果の定量的検討” (社) 溶接学会溶接冶金研究委員会創設50周年記念シンポジウム記念誌後援論文集 (2010.10)

(平成 22 年 11 月 25 日)