

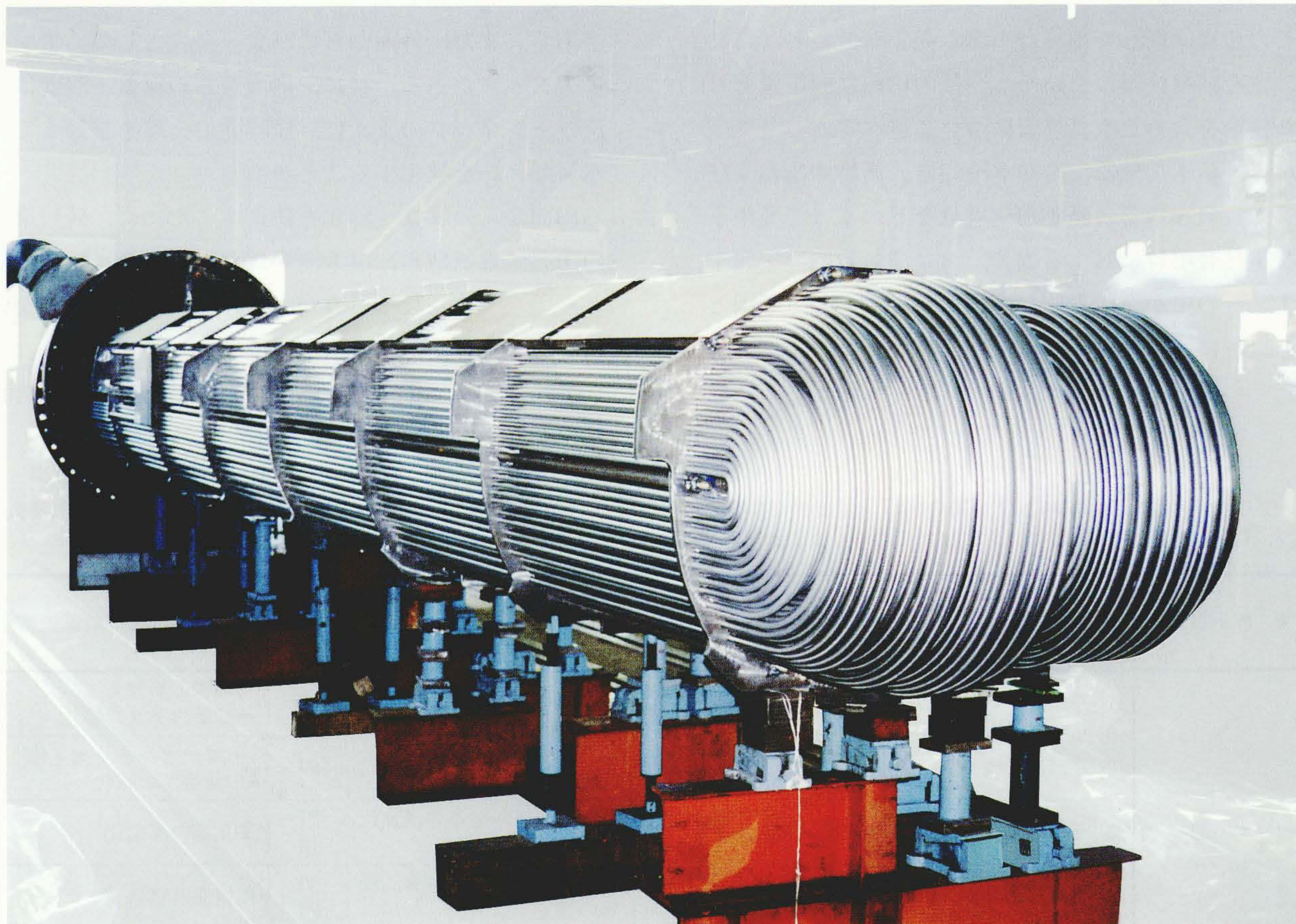
熱交換器の予防保全技術

— 復水器，給水加熱器などの耐力向上対策 —

Preventive Maintenance Technology for Heat Exchangers

住谷吉男* *Yoshio Sumiya*

熊谷吉雄* *Yoshio Kumagai*



低圧給水加熱器管巢および水室の新替え例 350 MW火力発電プラント設備用低圧給水加熱器のアンモニアアタック防止対策として、加熱管をステンレス管とし、水室、仕切板とともに一式新替えした例を示す。

火力発電プラント設備用主要熱交換器である復水器，給水加熱器，冷却水冷却器，油冷却器およびグランド蒸気復水器は，経年劣化現象および近年の火力発電プラント設備でDSS(Daily Start-Stop)運転またはWSS(Weekly Start-Stop)運転などによって，種々の腐食，浸食，き裂，熱疲労などの不具合事例が発生している。

これらについては，おのこの予防保全を中心とした改善として，復水器や低圧給水加熱器の伝熱管管

群交換，復水器高温座の構造改良やラバーベルト伸縮継手の定期的交換などのほか，高圧給水加熱器や冷却水冷却器などについては，一式新製交換を実施している。今後，発電プラント設備の経年劣化の進行も考え，伝熱管の渦流探傷検査や超音波肉厚測定などによる定期的な健全性評価，診断を実施し，改善および取り替えを長期的に計画することと，事故再発防止対策の水平展開が必要と考える。

* 日立製作所 日立工場

1 はじめに

火力発電プラント設備には種々の熱交換器が用いられている。近年、火力発電プラント設備では従来の一定負荷に変わり、DSS(Daily Start-Stop)運転などの運用が増大する傾向にある。これらの運用に関連し、熱応力疲労などの比較的新しい不具合事例も発生している。ここでは、主な熱交換器について、今後の信頼性向上策としての新技術を含めた改善施策について述べる。

復水器、給水加熱器、冷却水冷却器、油冷却器およびグランド蒸気復水器の経年劣化現象などによって発生する主な不具合項目に対する改善、および対策内容を表1に示す。その中から代表的な事例について、発生原因と対策を以下に述べる。

2 復水器の予防保全技術と耐力向上対策

2.1 冷却管の腐食

復水器用冷却管として、アルミニウム黄銅管が古くから使用されている。内面からの腐食・浸食として、インレットアタックとデポジットアタック〔局部潰(かい)食〕がある。また、外面からの腐食・浸食として、アンモニアアタックがある。特に、内面からの腐食・浸食はデポジットアタックのように、短時間で肉厚を貫通して、漏水・漏えいを発生することがある。

内面からの腐食・浸食を防止するために、硫酸第一鉄の注入、電気防食、塩素注入、ボール洗浄、逆洗運転などが従来実施されているが、さらに日常のきめ細かい運用管理が重要である。

アルミニウム黄銅管の予防保全対策として定期的な

表1 プラント機器の改善および対策内容 主要熱交換器である復水器、給水加熱器、油冷却器、冷却水冷却器およびグランド蒸気復水器の主な不具合項目に対する改善、および対策内容をまとめて示す。

機 器 名	保 守 点 検 ・ 改 善 お よ び 更 新		点検方法	改善および対策内容
	項 目	目 的		
1. 復 水 器	(1) 冷却管の新替え	経年劣化による漏えい防止性能および信頼性向上	ET	冷却管の新替え 冷却管のチタン管化
	(2) 高温座の改良	耐熱性強化 (経年劣化によるき裂発生を防止)	PT	(1) サーマルスリーブ化 (2) 溶接部の強化
	(3) その他ドレン、蒸気入口座の改良	経年劣化によるバッフルなどの浸食による減肉対策	PT DI	浸食部の厚肉化
	(4) 復水器胴体内部の総点検	経年劣化による内部構造物の腐食、浸食、き裂有無の調査	VI PT	損傷箇所補修
	(5) ラバーベルト伸縮継手の新替え	復水器の気密性保持(経年劣化による割れを防止)	HT VI	新替え
2. 低圧給水加熱器	(1) アンモニアアタック防止対策 (2) 鋼管の新替え	(1) アンモニアアタック発生防止 (2) 蒸気、ドレンによる浸食防止	ET	加熱管をステンレス管に新替え
	(3) 胴体内部部品、胴板の内面点検	浸食、減肉の有無確認	VI UT	一式新製交換
	(1) 水室の構造改善および鋼管のインレットアタック (2) 鋼管のスケール付着	(1) 水室の構造改善 (a) 管端溶接部の漏れ、突出管端のき裂防止 (b) 水室コーナ部の応力集中によるき裂発生防止 (c) 加熱管管端浸食防止 (2) スケール付着防止	PT PT VI VI	(1) 水室の構造改善 (a) 新方式：管端溶接採用 (b) 水室コーナR寸法を拡大 (c) チューブ インサート管装着 上記構造で一式新製交換 (2) ウォータジェット洗浄
4. 油冷却器	(1) 管巢の新替え (2) 水室の改造	(1) 経年劣化対策 (2) 性能回復 (3) 保守、点検の簡易化	ET VI	(1) 管巢の新替え (2) 水室にフランジ付きボルト締めカバー取り付け
5. 冷却水冷却器	(1) 冷却器の新替え (2) 水室の改造	(1) 経年劣化対策 (2) 性能回復 (3) 保守、点検の簡易化	ET VI	(1) 冷却器の新替え (2) 水室にフランジ付きボルト締めカバー取り付け
6. グランド蒸気復水器	(1) プロワの新替え (2) プロワ別置形改造	(1) インペラ、シャフトの経年劣化対策 (2) プロワの振動防止対策	VI	(1) プロワの新替え (2) プロワの別置き (3) プロワ周りの配管弁改造

注：略語説明 ET(渦流探傷検査), PT(染色浸透探傷検査), DI(寸法検査), VI(目視検査), HT(硬度測定), UT(超音波探傷検査)

ET(渦流探傷検査)が有効であり、現在はETのデータ整理、残肉厚管理などを自動管理する方策がとられている。

最近、既設アルミニウム黄銅管復水器の冷却管全数をチタン管にリプレースする保全策が、採用される傾向にある。メリットは、海水漏れの危険性が大幅に低下でき、定期検査時のETおよび日常の冷却管保護の保守管理が不要である。一方、チタンはアルミニウム黄銅よりも伝熱性能が若干低いので、薄肉のチタン管を使用するためには、冷却管支え間隔を小さくして、振動防止対策を実施する必要がある。

リパワリング計画で、プラント性能向上および信頼性向上から350 MW火力発電プラント設備用復水器のチタン化後の当初設計に対する仕様比較を表2に示す。この改造工事は、図1に示すようにチタン管管群を工場でブロック化し、現地搬入するものである。

2.2 ラバーベルト型伸縮継手の経年劣化

タービンと復水器の熱変位を吸収するためのラバーベルト型伸縮継手に発生したき裂が進展し、この部分から空気が漏入して復水器性能を低下させた事例がある。ラバーベルト表面の硬度は交換時の測定結果から、図2に示すとおり約10年で硬度がHs80以上になっている。復水器内部側のラバーベルト面の定期的な硬度測定作業は取付位置の関係から容易ではないため、ラバーベルトの損傷未然防止策として約10年を目標にして交換する必要

表2 当初設計とチタン化後の仕様比較 復水器でアルミニウム黄銅管をリパワリング計画でチタン管化した場合の仕様比較を示す。

項 目		当初設計	チタン化後
冷 却 面 積		20,790 m ²	18,210 m ²
計画真空度		-96.3 kPa	-95.7 kPa*
交 換 熱 量		1.49×10 ⁹ kJ/h	1.82×10 ⁹ kJ/h
冷 却 水	流 量	42,000 m ³ /h	50,600 m ³ /h
	入 口 温 度	21.1℃	21.1℃
	管 内 流 速	1.98 m/s	2.40 m/s
細 管	材 質	アルミニウム黄銅	チタン
	外 径	25.4 mm	25.4 mm
	肉 厚	1.24 mm	0.5 mmおよび0.7 mm
	有 効 長	18,220 mm	18,220 mm
	本 数	14,300本	12,530本
	設計清浄度	85%	90%
	取 付 方 法	拡 管	拡管および溶接
	管 板 材 質	ネーバル黄銅	チタン
管支え板枚数		16枚	23枚

注：ユニット出力350 MW発電設備用復水器
* リパワリングによって交換熱量が増加したため、計画真空度を低下させた。

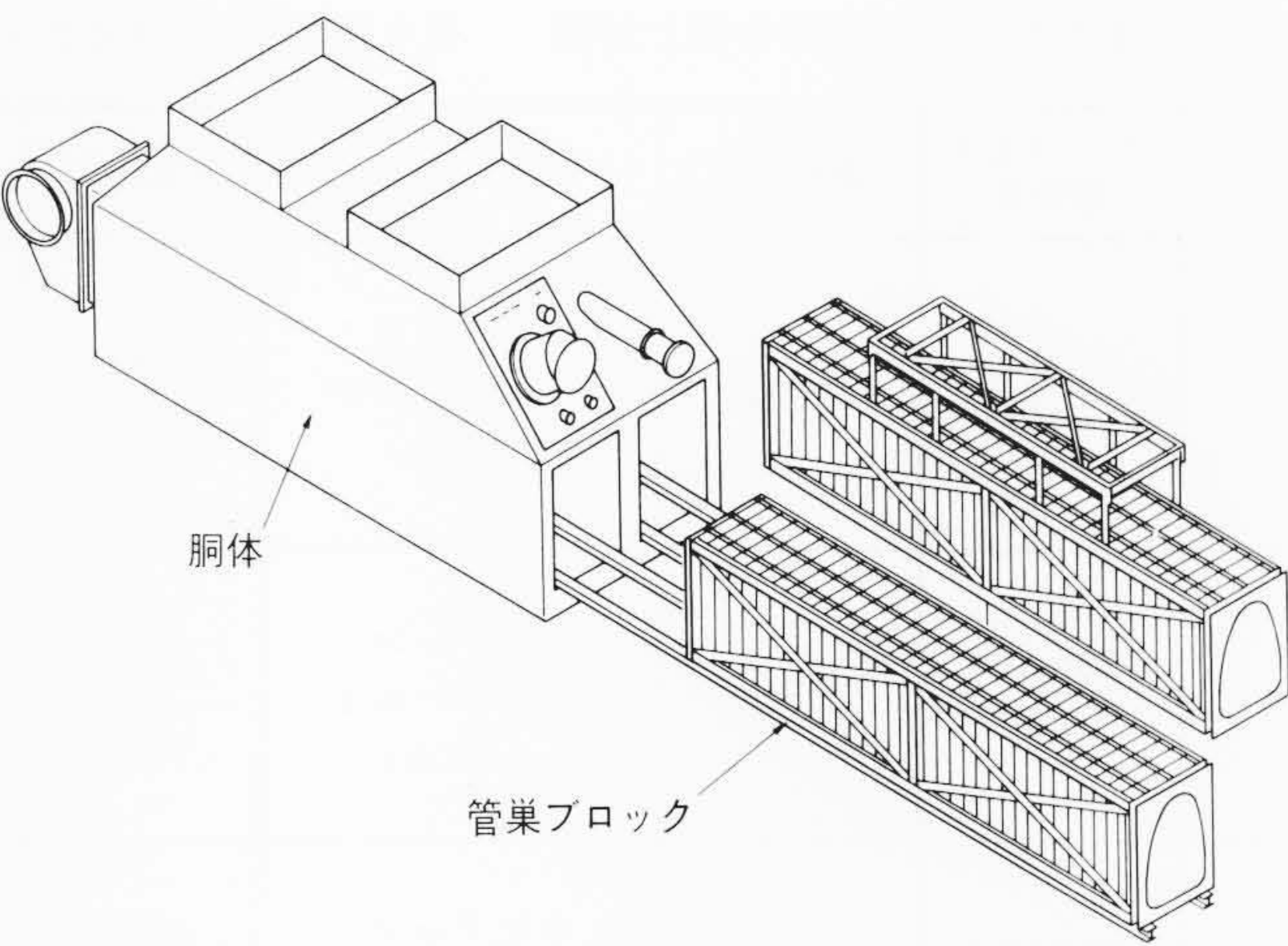


図1 復水器チタン化の改造工事 管板、胴体フランジ、アルミニウム黄銅管および管支え板の撤去した後に、チタン管管群を工場でブロック化して現地で胴体内へ搬入する。

がある。

2.3 高温管台のき裂

復水器には主蒸気ドレンなど400℃を超えるものも流入する。高温流体流入管台部では、管台部分と胴体約33℃の間に大きな温度差が生じるため、過大な熱応力が発生することがある。DSS運用などで加熱・冷却を繰り返すことによって、管台と胴体の接続溶接部に熱疲労によるき裂発生事例を次ページの表3に示す。

高温側の管台と低温側の胴板との接続はサーマルスリーブを介して行い、高温流体が胴体に当たらない所で吹き

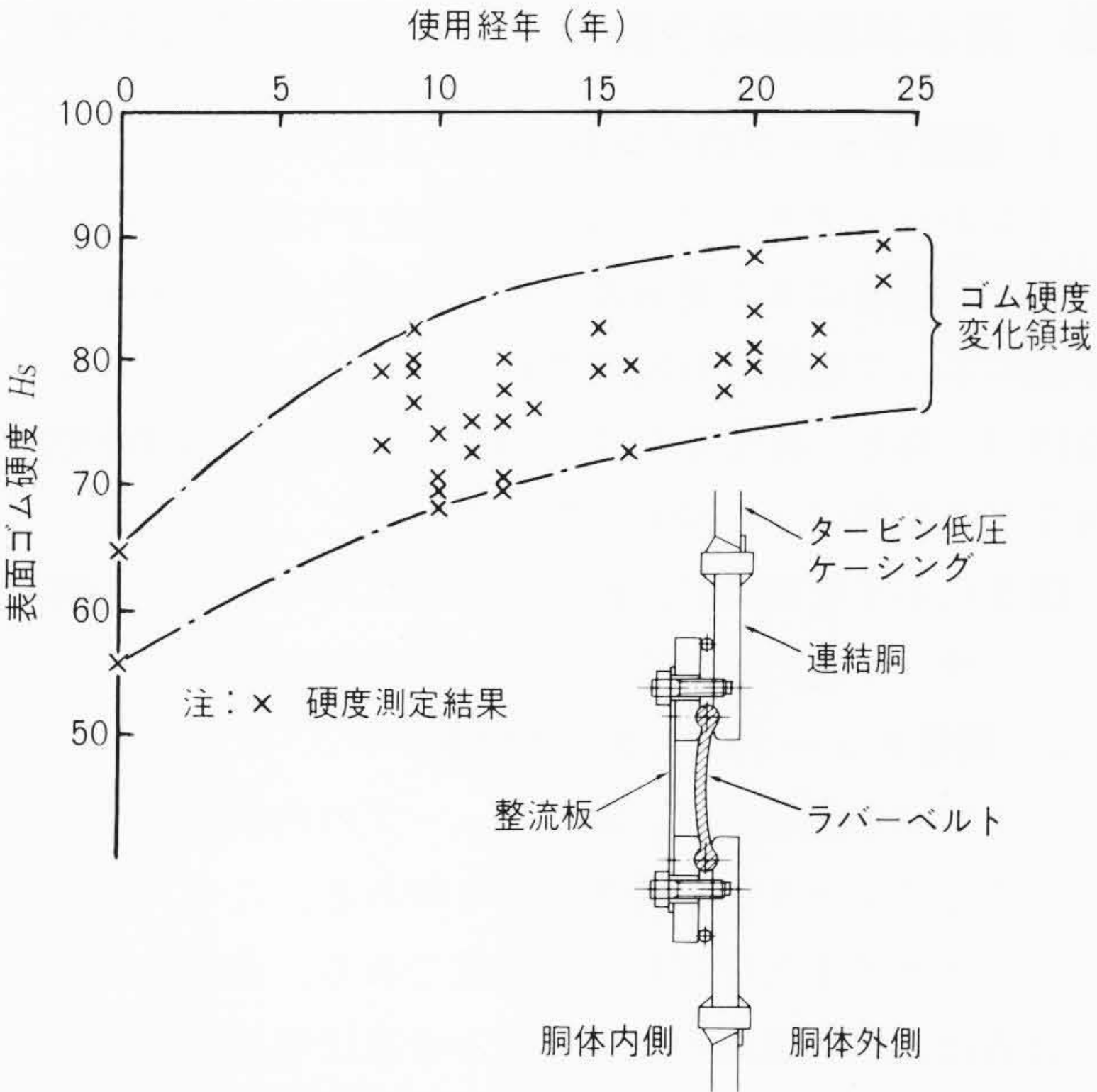
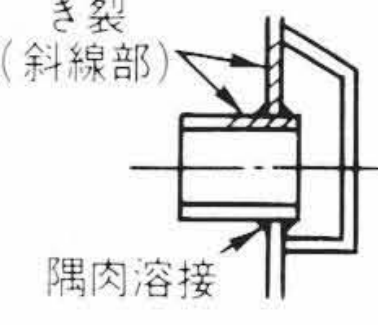
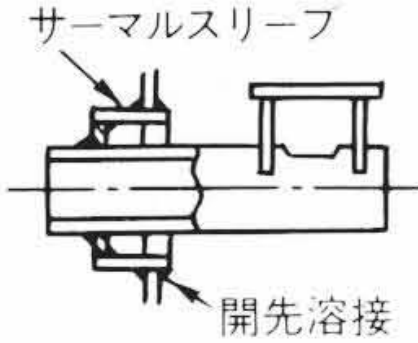
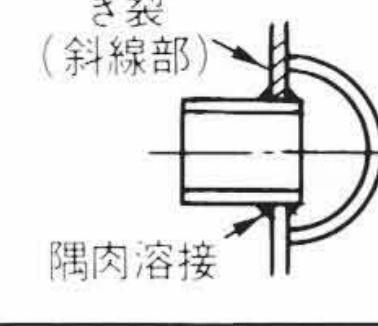
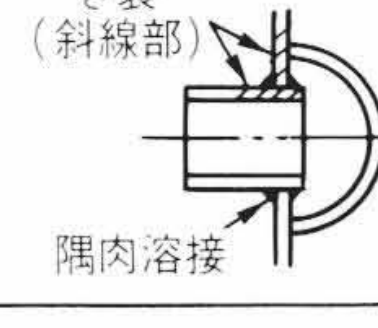
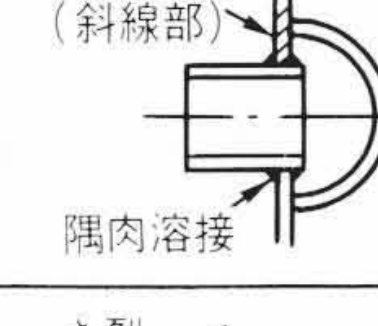
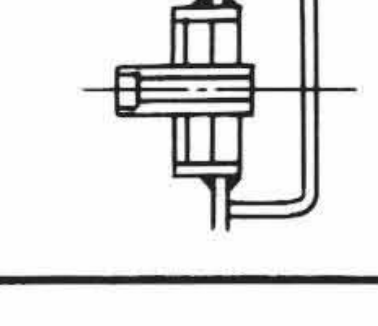


図2 ラバーベルト型伸縮継手の経年変化 ラバーベルトの使用経年によるゴム硬度の変化状況を示す。

表 3 復水器高温座損傷事例と対策 復水器高温座の損傷状況と、座形状の対策事例を示す。

No.	プラント出力 (運転年)	運転状況	座 名 称	損傷時期	損 傷 状 況	座 形 状	
						既 設	対 策
1	250 MW (昭42)	DSS	高圧ドレン マニホールド (150A)	運転後 17年	胴体に105mm,管台に80mmの き裂発生		
2	265 MW (昭39)	DSS	高圧ドレン マニホールド (150A)	運転後 15年	胴体に45mmのき裂発生		
3	250 MW (昭49)	DSS	中圧ドレン マニホールド (100A)	運転後 12年	胴体に115mm,管台に70mmの き裂発生		
4	350 MW (昭45)	一定負荷 (非常時流入)	SSR蒸気入口 (150A)	運転後 19年	胴体に178mmのき裂発生		
5	600 MW (昭48)	中間負荷	タービン リード管 ドレン入口 (50A)	運転後 10年	サーマルスリーブと胴体の溶 接部に、円周方向に3個Max. 80mmのき裂発生		

注：略語説明 DSS (Daily Start-Stop), WSS (Weekly Start-Stop), SSR (Steam Seal Regulator)

出す構造として、管台から胴体に至る間の温度こう配の緩和が図られ、き裂発生を防止することができる。

3 給水加熱器の予防保全技術と耐力向上対策

3.1 鋼管チューブのインレットアタック

インレットアタックとは、給水温度が150～200℃の高圧給水加熱器に多く見られ、管入口部内面の保護皮膜が水流によって破壊され浸食されていく現象である。この原因は、渦流・過流速のほか、給水のpH(水素指数)や温度などの影響による浸食、腐食である。

図3に示す管端部に、耐食性に優れたステンレス鋼製のインサート管の装着などが有効である。

3.2 鋼管チューブのスケール付着

高圧給水加熱器では、鋼管チューブの内面などに黒色の強固なスケールが付着することがある。このスケールはマグネタイトと呼ばれる酸化鉄である。過度のスケール付着は、圧力損失の増大による水室仕切板の損傷、ボイラ給水ポンプの過負荷、あるいは伝熱性能の低下を招くおそれがある。

定期的なスケール除去、プラント停止時のさび止め保管の強化、起動時の給水水質管理の徹底などが対策としてあげられる。スケールの除去方法としては、ウォータジェット洗浄や化学洗浄などがあり、ウォータジェット洗浄が一般的である。

3.3 加熱管の非破壊検査

給水加熱器の加熱管材質としては、給水および加熱蒸気の温度や圧力に応じ、炭素鋼、モネル、オーステナイト系ステンレス鋼、アルミニウム黄銅などが使用されているが、加熱管の経年損傷(腐食、浸食など)による漏れ防止のための非破壊検査としては、検査効率のよい内挿式ETが主体となっている。しかし、内挿式ETはオーステナイト系ステンレス鋼、アルミニウム黄銅など非磁性材については探傷技術が確立されているが、炭素鋼、モネルなどの磁性材には内挿式ETの適用が困難であり、特に細管・厚肉加熱管の探傷検査は不可能な状況にある。しかし、磁性材加熱管の非破壊検査の必要性は高く、内挿式ETの開発を進めて以下の内容で実用化に着手した。

(1) 磁気飽和式ET

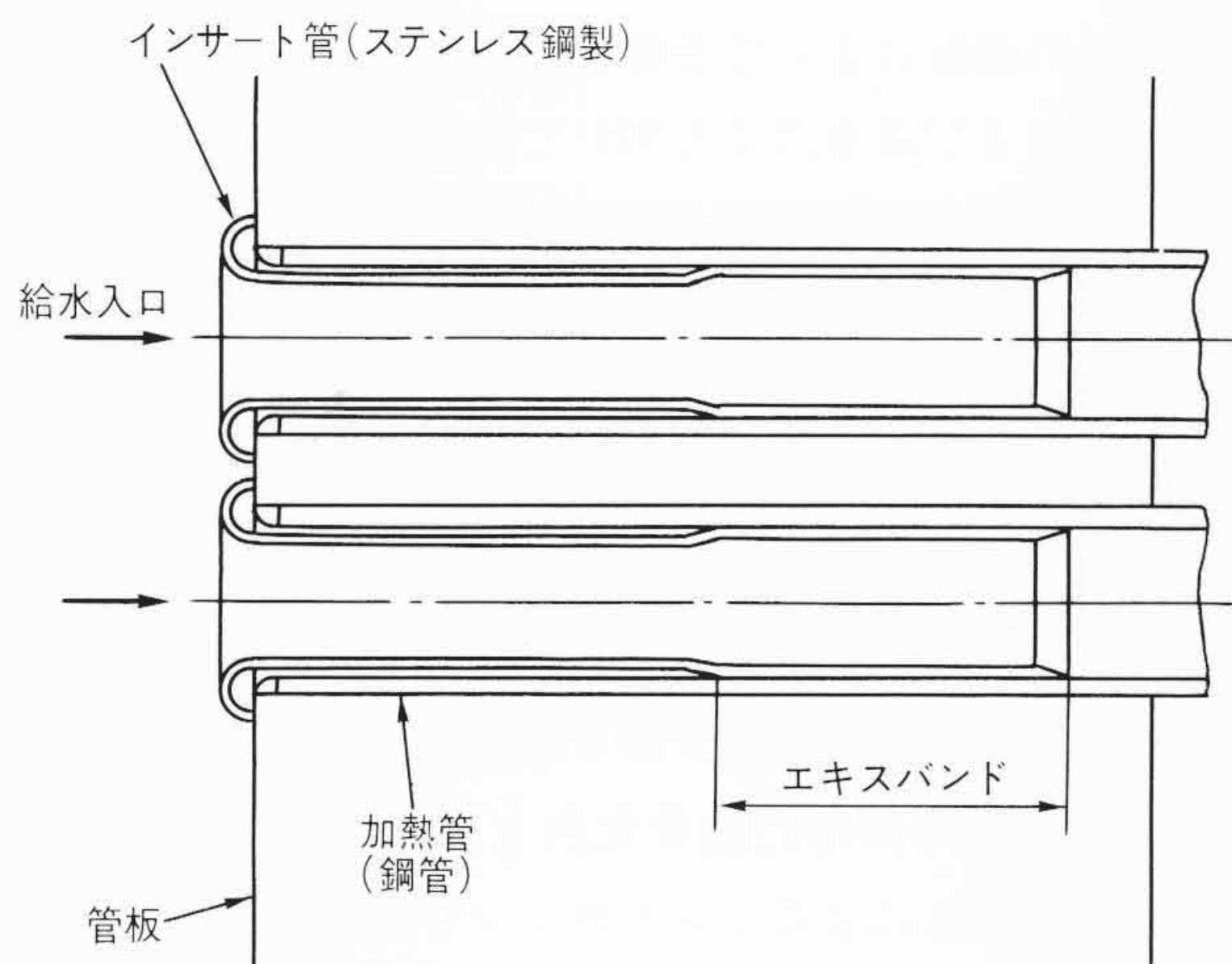


図3 給水加熱器の鋼管管端保護用インサート管 鋼管チューブのインレットアタック防護策として、管端部に耐食性に優れたインサート管を装着した。

探傷部分の加熱管を部分的に磁気飽和させることによって磁性の影響を除去し、検出能の向上を図る方法である。従来外径13 mm以下の磁化コイルで磁気飽和に達する磁束密度を得ることができず探傷困難であったものを、コア材の改良により、外径13 mm以下の内挿型磁気飽和式ETコイルが開発され、外径19.0 mm、肉厚2.3 mm、内径14.4 mmの加熱管のECTが可能となった。しかし、この方法では欠陥信号は感度よく検出されるが、位相解析による欠陥性状評価(内・外面位置判別、欠陥深さ判定)ができない短所があり、他の手法によって補助する必要がある。

(2) リモートフィールド式ET

この方法は、受信コイルを励磁コイルから管径の2倍以上離れた位置に配置し、間接電磁界と呼ばれる領域で欠陥検出する方法である。磁気飽和の必要がないこと、探傷コイルの小型化が可能であることから、磁性材のETとして新しく採用された。この方法は、前述した(1)に比べて探傷感度が若干低いこと、また探傷速度が約 $\frac{1}{5}$ と遅いなどの欠点はあるが、位相解析による欠陥深さの判定がある程度可能であるという大きな長所を持っている。

したがって、磁性材加熱管の実機探傷については上記(1)、(2)の併用、すなわち全数検査を磁気飽和式ECTで行い、検出された欠陥部についてはリモートフィールド式ETで再探傷を行って欠陥深さを評価判定することにより、健全性評価精度の向上を図っている。

3.4 高圧給水加熱器の給水漏れ

国内火力発電プラント設備用高圧給水加熱器の納入稼動台数と、漏れ不具合発生件数(全部品の件数)を分析し

た結果を図4に示す。昭和30年代から納入稼動した給水加熱器は現在までに400台近くになっている。この間、加熱管の造管技術や給水加熱器の製作・検査技術などの進歩・向上によって、同図にみるように主に昭和48年以降に運開(新製器を含む。)された給水加熱器の漏れ発生件数は低率を示しており、品質および信頼性の向上が認められる。

したがって、今後のプラント設備の信頼性強化策の一環として、加熱管の施栓率および給水漏れ発生頻度が上昇傾向を示す給水加熱器に対しては、一式新製交換が有効である。

3.5 低圧給水加熱器の胴体内部浸食

鉄鋼材料の腐食速度は環境温度によって強い影響を受け、特定温度域(120℃近傍)で腐食速度が増大する傾向にある。低圧給水加熱器で前記特定温度域の近傍にあるもので、胴体内表部が比較的蒸気流速の高い個所またはドレンの流動などで、浸食減肉する例が増加している。

応急対策として、減肉個所の胴板を局部切断して新しく交換している。その後は、胴体径の増大、胴体の耐食性材への改善を図った一式新製交換が有効である。

3.6 低圧給水加熱器鋼管加熱管の外面浸食

加熱管に鋼管を使用している低圧給水加熱器で、蒸気流入管台近傍部の蒸気流速が高い部分やドレン流動などのある部分で、管巢外周加熱管から2段目までに減肉現象が増大している。

この部分は環境温度によって強い影響を受ける特定温度域(120℃近傍)で腐食速度が増大する個所である。

応急対策として、漏えい管にプラグ閉止を行っている。

恒久対策としては、管巢外周加熱管をステンレス管に新しく替えるか、一式新製交換が有効である。

4 油冷却器の予防保全技術と耐力向上対策

4.1 管巢の経年劣化

油冷却器は冷却水として淡水を使用しているが、長年の冷却水使用により、管板面および冷却管内に腐食や浸食が発生し、また、長年の運転で冷却管内面が冷却水によって汚れ、冷却管の伝熱性能が低下するため、所定の油温が得られなくなる。

長年の運転によって経年的に劣化した油冷却器の性能改善および予防保全対策としては、管巢(管板、冷却管、仕切板、ディスタントボルトおよびピース)の新替えがある。なお、冷却管はフィン管を使用することによって大幅な伝熱性能の改善が可能である。

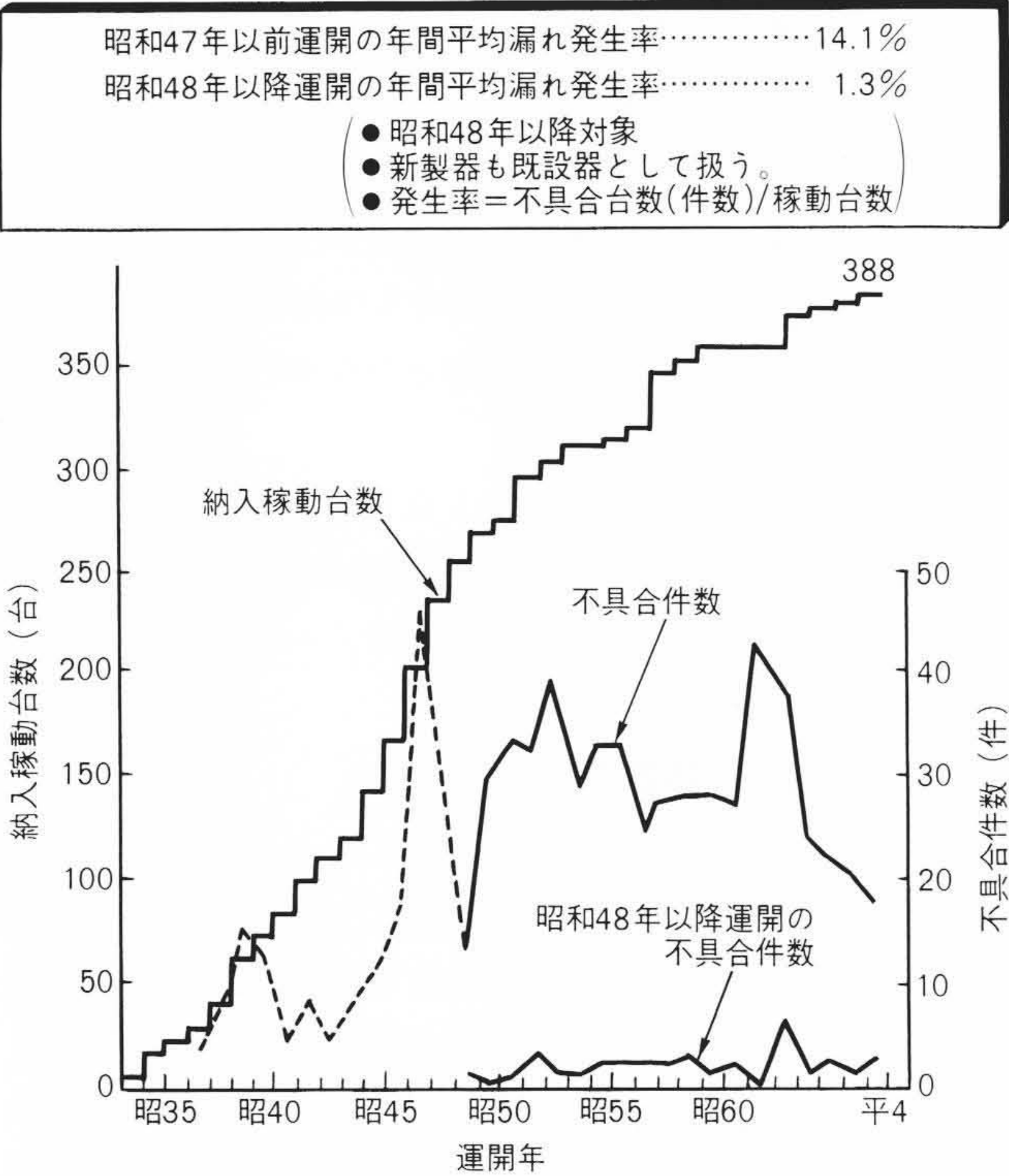


図4 納入稼働台数と漏れ不具合発生件数(国内75 MW以上の高圧給水加熱器) 高圧給水加熱器の納入台数に対する不具合発生件数を、年度別に取りまとめて示す。

4.2 水室の経年劣化

油冷却器の水質は管板、冷却管と同様に長年の冷却水使用により、内面の腐食・浸食が発生するので、経年劣化対策として水室の新替えがある。

5 冷却水冷却器

冷却水として海水を使用している冷却水冷却器は、海水中の異物や魚介類などの海棲(せい)生物の流入により、管板面および冷却管内面に腐食・浸食が発生し、ま

た、長年の運転によって冷却管内面および外面は、それぞれ海水および淡水による汚れで冷却管の伝熱性能が低下し、所定の冷却水温度が得られなくなる。

長年の運転によって経年的に劣化した冷却器の性能改善および予防保全対策として、伝熱面積を増加した冷却水冷却器一式の新替えがある。

6 グランド蒸気復水器

グランド蒸気復水器用ブロワは、グランド蒸気復水器胴体に直接取り付け鉄骨架台上に設置されている場合、長年の運転によるインペラシャフトの経年的劣化が予想される。そのため、予防保全としてブロワの新替えとともにブロワの振動防止対策のため、鉄骨架台上へのブロワ設置をやめ、コンクリート床に設けたコンクリート基礎上にブロワを設置するいわゆる「ブロワ別置形」への改善対策がある。

7 おわりに

以上、発電プラント用機器として主要な熱交換器の経年劣化現象、その対策および新技術の概要について述べた。

従来、熱交換器類は、予防保全を中心とした経年劣化対策を実施しているが、最近では余寿命診断技術の開発も進められ、伝熱管の渦流探傷検査のように一部適用されつつある。

今後、発電設備の経年劣化が進み、運用形態もさらに多様化かつ過酷なものになっていくものと予想されることから、定期的な健全性評価・診断に基づき、取り替え、補修時期を長期的に計画立案することが必要と考える。