

蒸気タービン主要弁の信頼性向上技術

The Latest Technology for Advanced Reliability of Steam Turbine Main Valves

火力プラント、原子力プラントの大容量化に伴い、火力プラントのミドル化、長時間使用機の経年劣化に対する予防保全が重要になる。そこで日立製作所では、高温、高圧の過酷な条件下で用いられる、蒸気タービン用主要蒸気弁の信頼性向上技術について、鋭意検討を行なってきた。

この結果、(1)バルブケーシング用高じん性鋳鋼材の開発、(2)高耐食性、多弁形主蒸気止め弁の開発、(3)蒸気加減弁の振動発生原因の究明、対策など、数年来の問題点について、日立製作所独自の各種実験を行なって新技術を開発し、良好な実績を得ることができたので紹介する。

藤田 功* *Isao Fujita*
 菊池 松人* *Matsuto Kikuchi*
 松浦祐太郎** *Yūtarō Matsuura*

1 緒言

蒸気タービンの主要蒸気弁は、高温、高圧の過酷な条件下で用いられる。更に、高速蒸気流を種々の信号により制御する役目を担っており、最近の電力事情に対応するため、次の点について鋭意検討がなされている。

- (1) 火力プラント、原子力プラントの大容量化に伴う大口径化
- (2) 火力プラントのミドル化、長時間使用機の経年劣化に対する予防保全
- (3) 運転の自動化、大容量化に伴う制御の速応性及び安定性への対応

一方、信頼性の面では、バルブケーシングのき裂、蒸気流による振動、蒸気流中の固形微粒子による浸食などの問題が挙げられ、これらの改善に取り組んできた。

以下に、主要蒸気弁の弁体側を主体とした信頼性向上技術について紹介し、関係者の参考に供したい。

2 主要蒸気弁の制御系統

主要弁の制御方式には、MHG(機械-油圧)式とEHG(電子-油圧)式がある。タービンの大容量化、及びより高度の機能をもった制御が要求されるに伴い、EHG方式が多く採用されるようになった。図1に主要弁のEHG制御系統の一例を示す。制御信号はEHG盤からサーボ弁や電磁弁に伝達され、112kg/cm²の難燃性高圧油により弁を操作する。

3 主要蒸気弁の信頼性向上

蒸気タービンの蒸気圧力、温度は高効率を求め、技術の限界に挑戦しているといえ、圧力は246kg/cm²、温度は566℃に達している。

このような高温、高圧の下で制御する主要蒸気弁は、信頼性の面で図2に示すような改善すべき問題点があった。主な問題点の要因は、(1)高温、高圧下でのクリープ、(2)材料の高温下での経年劣化、(3)蒸気流による振動、(4)熱応力、(5)摺動部のスティック、(6)固形微粒子による浸食などである。

一方、定期検査時には、摺動部などの寸法管理と材料の経年劣化に対する点検が不可欠である。また、定期検査ごとに分解、組立を繰り返すので、このときの作業要領、管理も重要となる。すなわち、主要弁の信頼性確保には、きめ細かい

保守管理に頼らなければならない要素が多くある。

4 信頼性向上技術の開発

蒸気タービンの主要弁は、運転、制御、高温材料、流体、振動など幅広い技術分野に関係している。この信頼性を確実にするために開発された技術の主要なものを以下に述べる。

4.1 バルブケーシング用高じん性鋳鋼材

バルブケーシングは形状が複雑であるため、一般にCrMoV鋳鋼材を用いている。この問題点は、鋳鋼品の微小欠陥が内圧応力や熱応力によりクリープ進展し、定期検査時などにき裂が発見される例が多いことである。また、製造時に補修溶接を要する場合が多く、一方、CrMoV鋳鋼材料はSR割れ(応力除去焼なまし過程での割れ)感受性が高い。したがって、この割れを防止するための溶接時の熱扱い、作業管理とともに、SR割れ感受性が低く、クリープき裂の進展速度が遅く、しかもクリープ強度の強いCrMoV鋳鋼材が必要となる。日立製作所は長年にわたりこの研究に取り組み、最適化学成分、硬度を規定した。更に、SR割れ発生機構を解明して、熱処理条件、溶接条件、検査などの製造過程に改善を加え、高じん性CrMoV鋳鋼材を開発した。

高じん性材は図3に示すように、クリープき裂の進展速度の面では、従来材の1/5以下である¹⁾。

次に、合理的な製造、検査法を検討するための作用応力については、三次元の有限要素法による応力解析を行ない、これを工場水圧試験時の応力測定によって検証している。

図4に別置形蒸気加減弁ケーシングの三次元有限要素法による、温度分布、熱応力及び内圧応力の解析モデルの一例を示す。

火力プラントのミドル化、長時間使用機の経年劣化に対処するために、バルブケーシングの精密点検が必要となる。各種バルブの内外面の点検優先度を図5に示す。特に、蒸気加減弁のように、低負荷運転の間、外面に定常熱応力が作用するバルブでは、内面点検とともに外面からの点検が必要になる。

4.2 再熱弁の鋼板化

組合せ再熱弁は比較的薄肉で大径であるため、従来の鋳造構

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所機械研究所

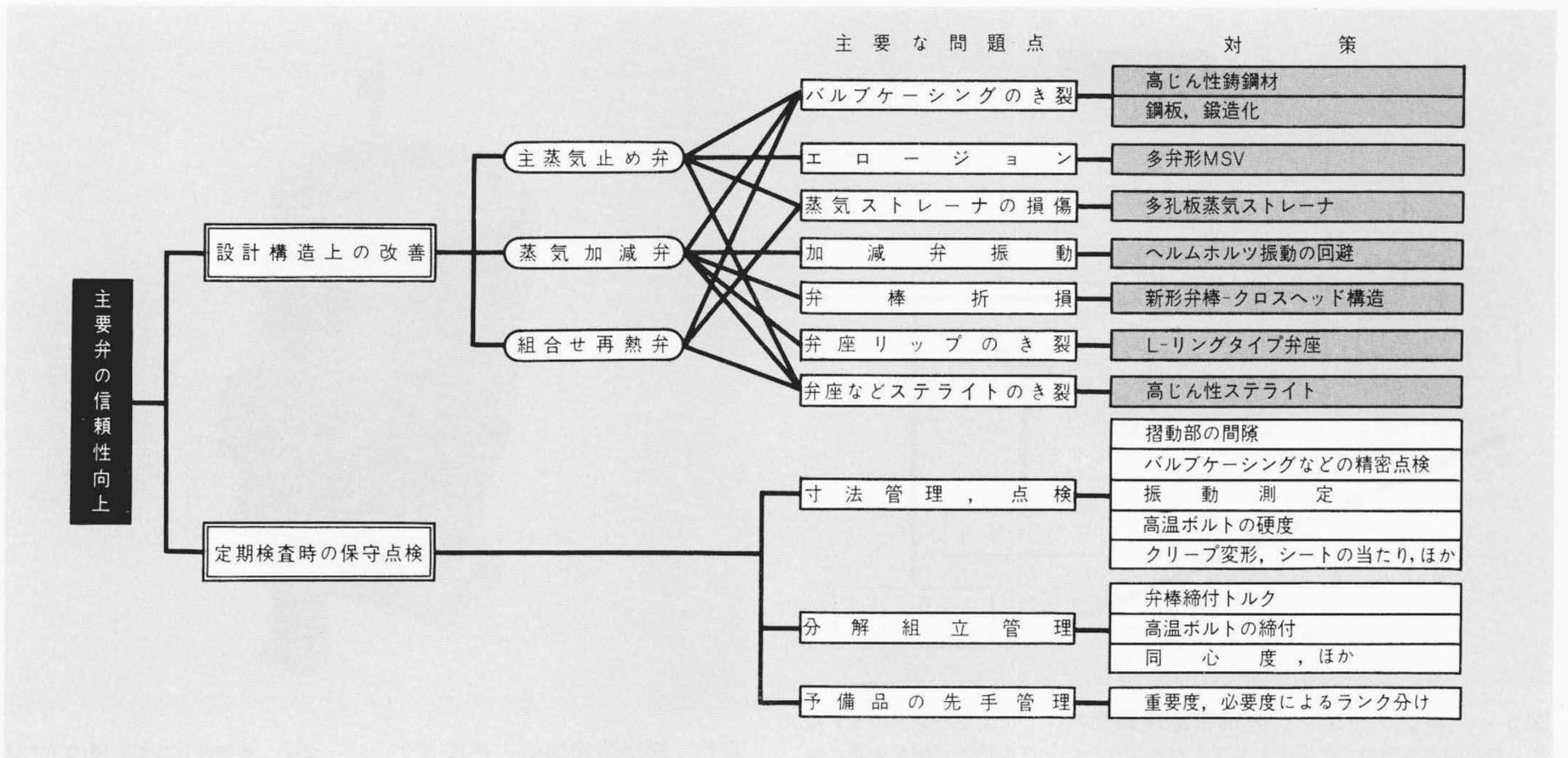


図2 主要蒸気弁の信頼性向上 長年にわたる主要な問題点について、信頼性向上技術を開発した。

造とともに鋼板溶接構造にも適している。したがって、EBW（電子ビーム溶接）を併用した鋼板溶接構造のバルブケーシングを試作開発して実用化している。この外観を図6に示す。

4.3 多弁形主蒸気止め弁

バイパス弁付主蒸気止め弁の弁棒が、蒸気流中の固形微粒子により、浸食される例が多い。この対策として、多弁形主蒸気止め弁を開発し、浸食の激しいタービンに適用して

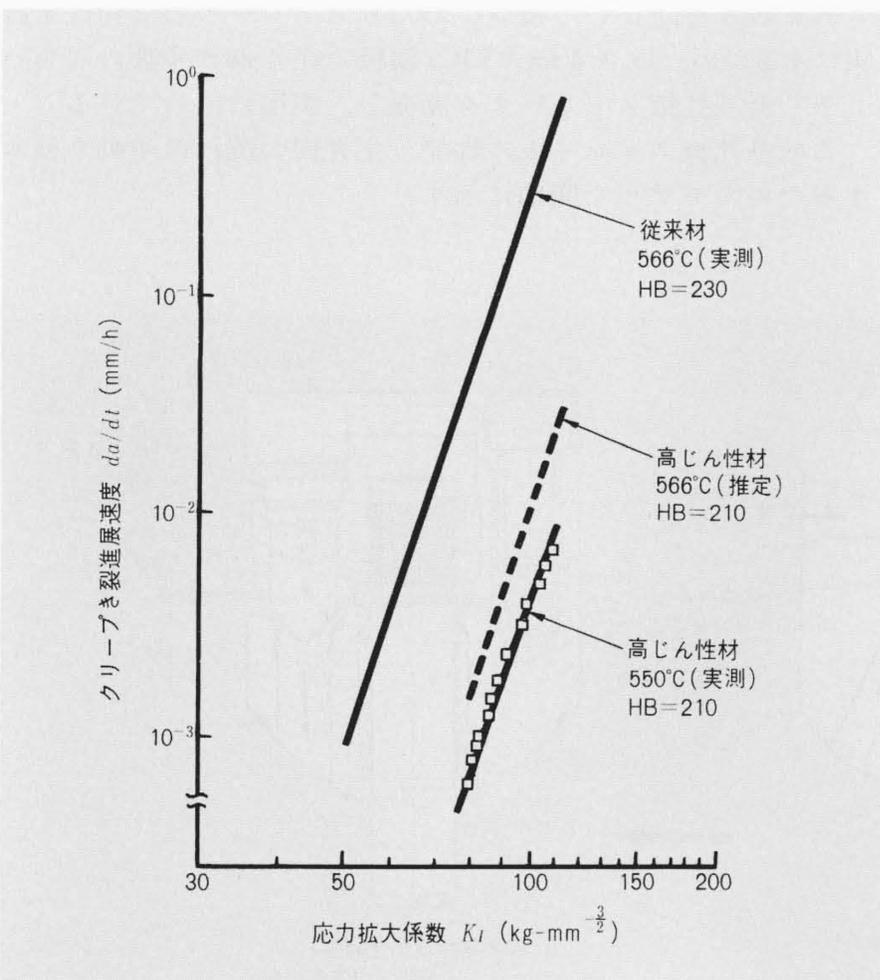


図3 CrMoV 鋳鋼のクリープき裂の進展 高じん性材のクリープき裂進展速度は、従来材の $\frac{1}{10}$ 以下である。

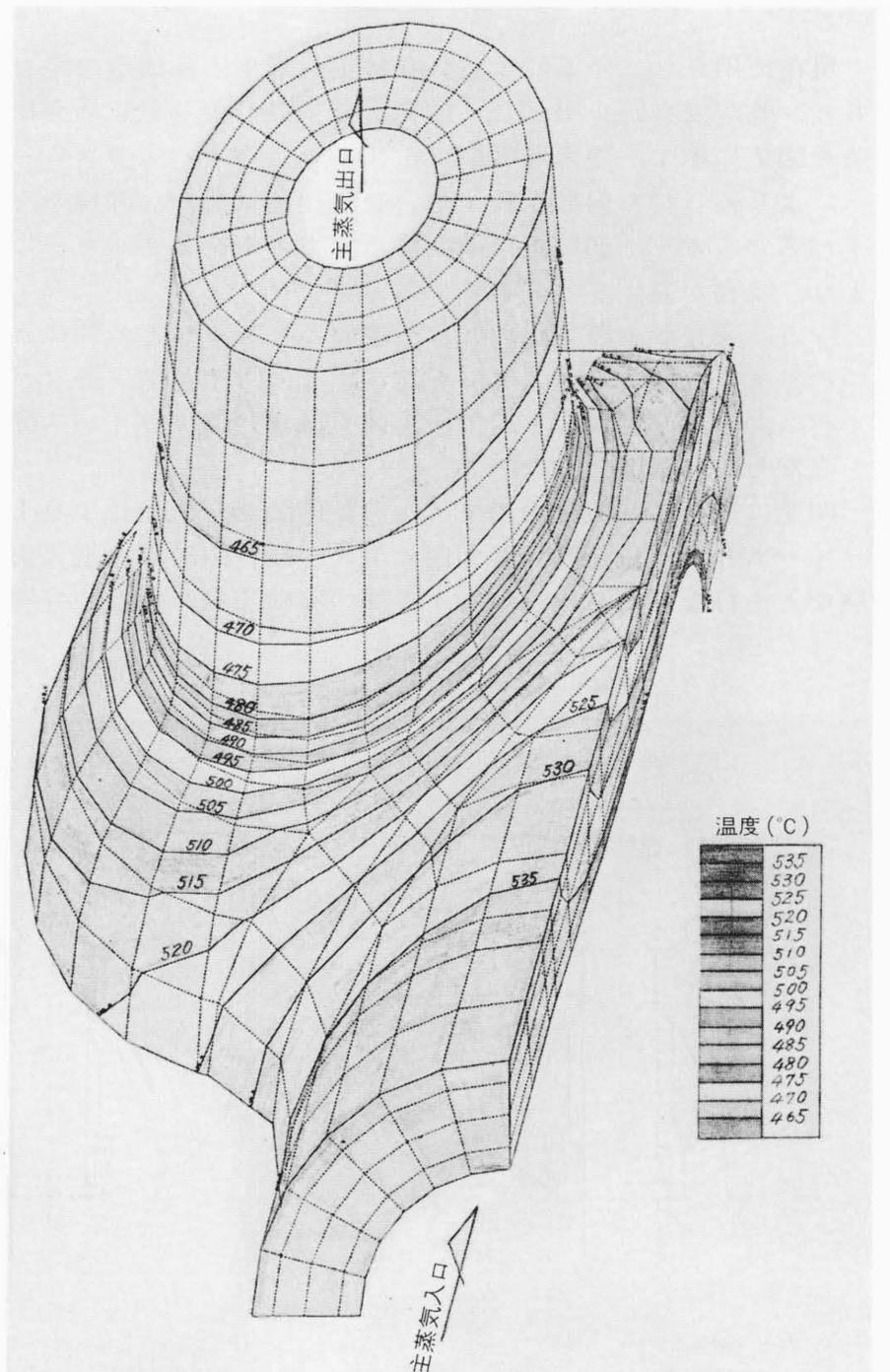


図4 バルブケーシングの温度分布と応力解析モデル 三次元有限要素法により、熱応力、内圧応力を解析して信頼性向上を図るとともに、合理的な製造、検査に活用する。

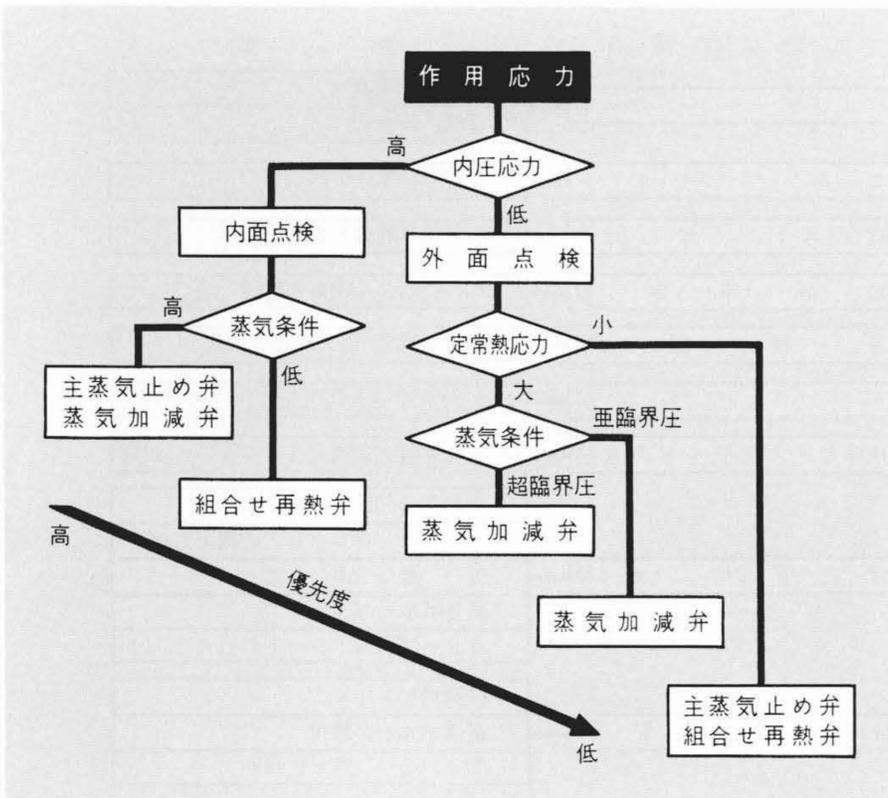


図5 バルブケーシングの精密点検優先度 火力プラントのミドル化と長時間使用機の予防保全として、バルブケーシングの精密点検が必要となる。特に加減弁については外面点検も必要である。

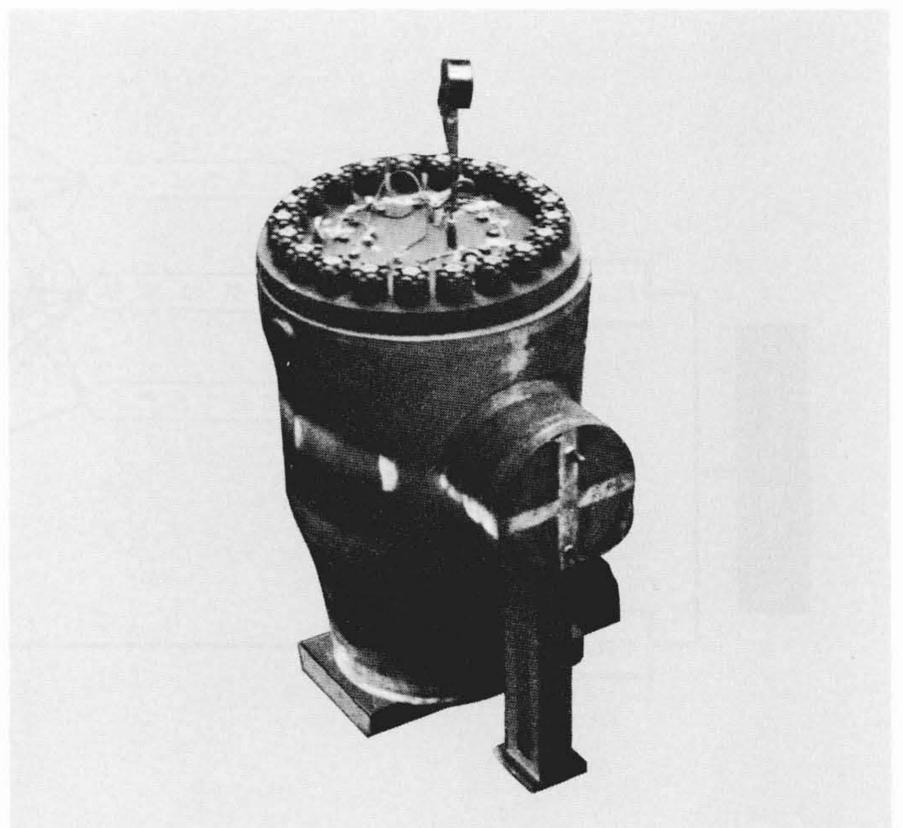


図6 鋼板溶接構造の再熱弁ケーシング 再熱弁は比較的薄肉で大径のため、電子ビーム溶接を併用して、鋼板溶接構造化している。

いる²⁾。

現在使用されているバイパス弁付主蒸気止め弁構造の主なもの、及び浸食防止用として開発した多弁形主蒸気止め弁構造を図7に示す。従来形[図7(a), (b)]は、バイパス弁スロットにより絞られた固形微粒子を含む高速蒸気流が、弁棒やバイパス弁スカート部に直接衝突する。この衝突エネルギーにより、浸食が発生するものである。

一方、多弁形主蒸気止め弁は、主弁とキャップとの間に三つのアームを備えたディスクを設け、このディスクに各々バイパス弁を取り付けたもので、高速噴流が弁棒やバイパス弁を直撃しない構造とした。

開発に当たり、実物大のモデルを製作して空気流により(1)バイパス弁の流量特性、(2)弁内の流れの観察、(3)異物混入実験などを行なった。更に、約1年間の実機実験を行ない弁棒

の浸食防止として有効であることを確認した。図8に多弁形主蒸気止め弁の外観を示す。また、図9には油膜法(油煙とヒマシ油の混合液を塗布)によりバイパス弁内の流れの挙動を観測した例を示す。

4.4 多孔板蒸気ストレーナ

タービンへの異物混入を防止するために、蒸気ストレーナを主蒸気止め弁、組合せ再熱弁(又は中間弁)に設けている。従来は金網ストレーナであったが、網線の緩みにより素線が振動し摩耗損傷する場合があった。したがって、金網の欠点である緩みを防止し、長期にわたりストレーナの信頼性を確実にするため、厚さ4mmの13Cr鋼板に径4mmの多数の穴をパンチした多孔板ストレーナを開発し、実用に供している。

この多孔板ストレーナの性能、主弁内の流れの挙動を観測するためのモデルを図10に示す。

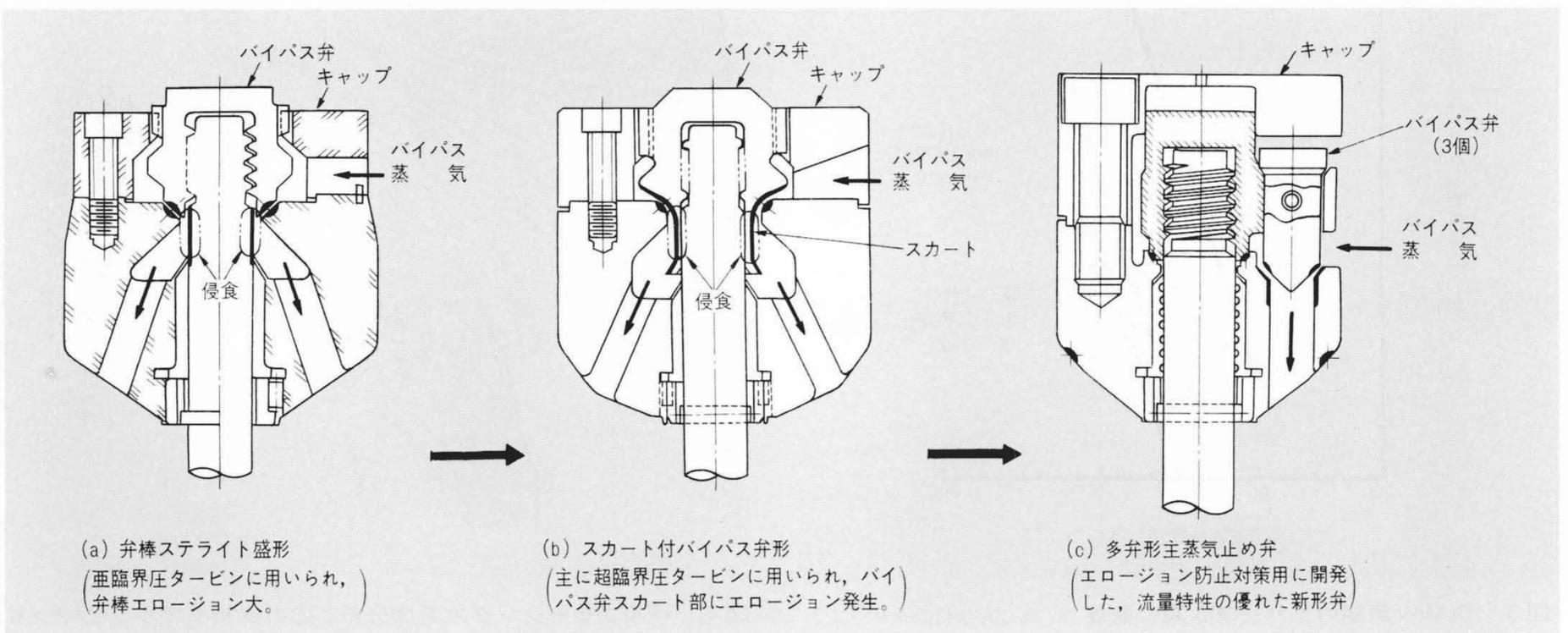


図7 バイパス弁付主蒸気止め弁構造の変遷 主蒸気止め弁のエロージョン対策として、3個のバイパス弁を備えた多弁形主蒸気止め弁を開発した。

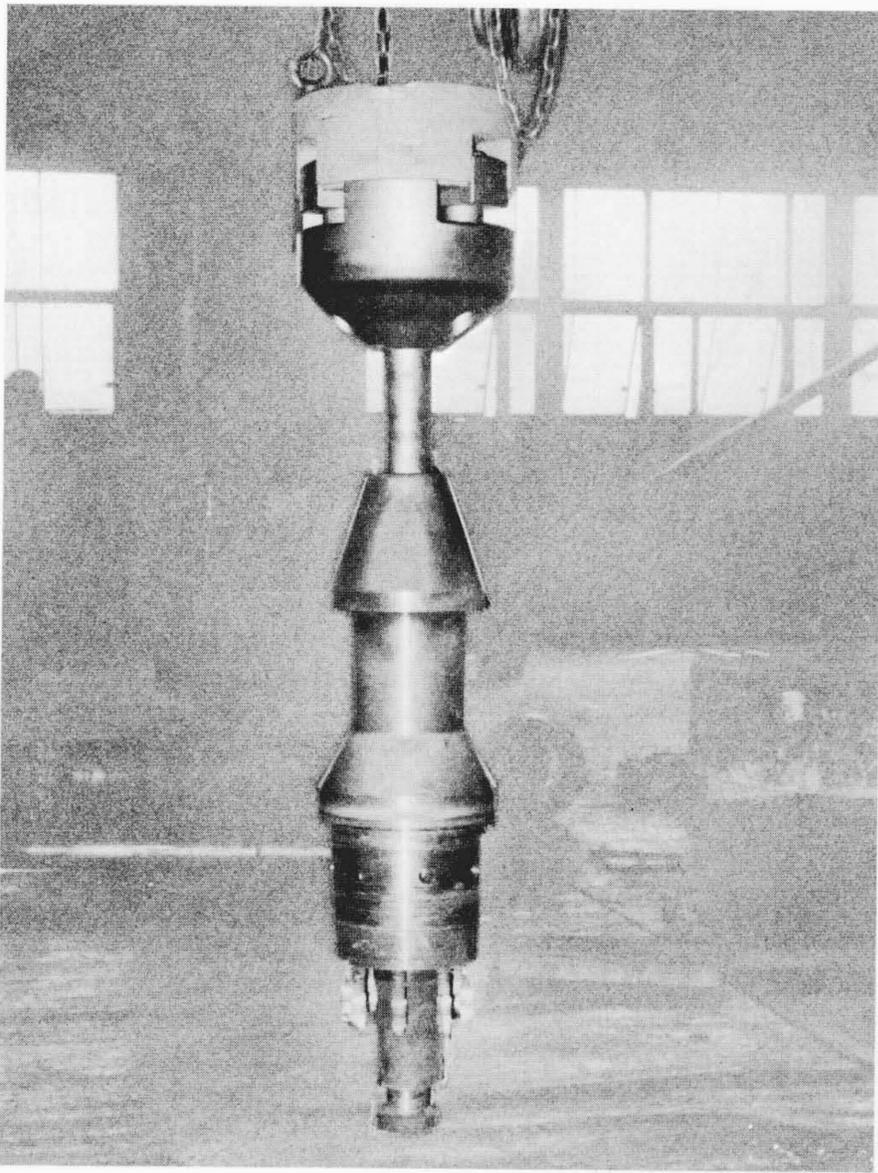


図8 実機試験後の多弁形主蒸気止め弁 開発品の最終確認として、約1年間の実機試験を行なった。

4.5 蒸気加減弁の振動対策

蒸気加減弁は、種々の圧力差のもとで高温、高圧の蒸気を絞り制御しているため振動が発生する。この振動の低減、及び開弁時のサーボモータ操作力を軽減することを目的として、図11に示すバランス形蒸気加減弁が用いられている。バランス形蒸気加減弁は親弁と子弁の二重弁から成り、親弁上部にバランス室を設けている。このバランス室が一種の共鳴箱となり、ヘルムホルツ振動と呼ばれる共鳴振動数をもっていることを究明した³⁾。これが、弁体-弁棒系の機械的固有振動数と一致すると共振現象を起こし、過大振動が発生することを明

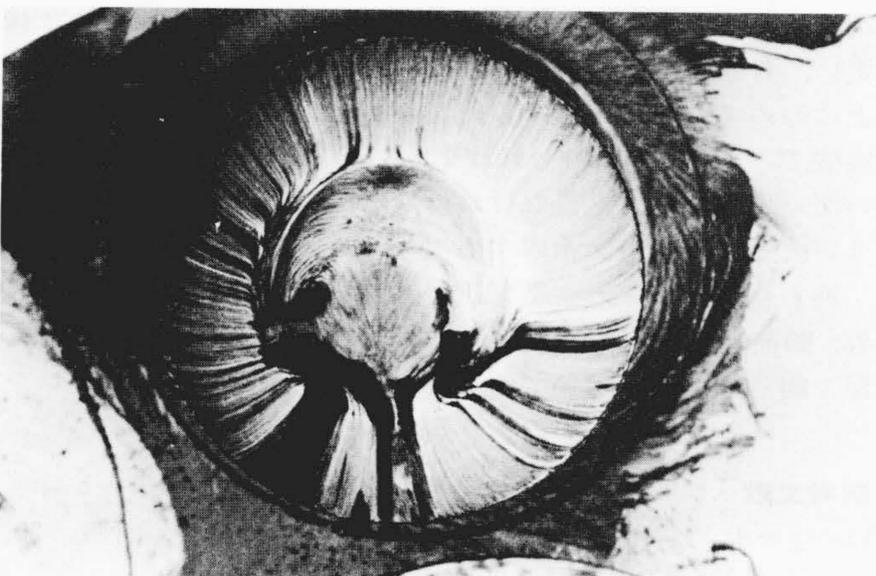


図9 バイパス弁内の流れ 油煙とヒマシ油の混合液を現寸モデルに塗布して、空気流によりバイパス弁内の流れの挙動を観測した。

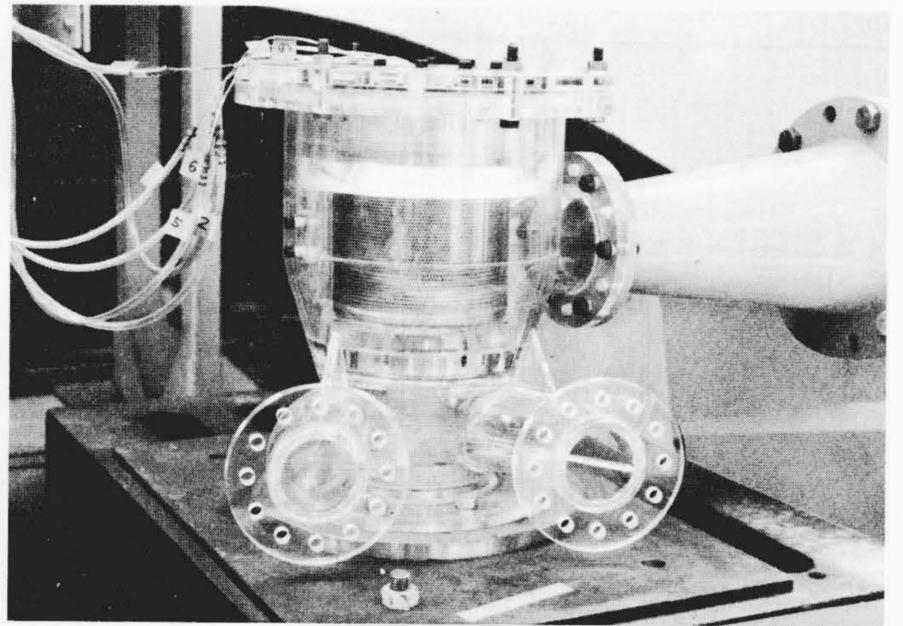


図10 主弁内の流れの挙動観測モデル 多孔板ストレーナなど主弁内の流れの状況、圧力分布を空気流により測定した。

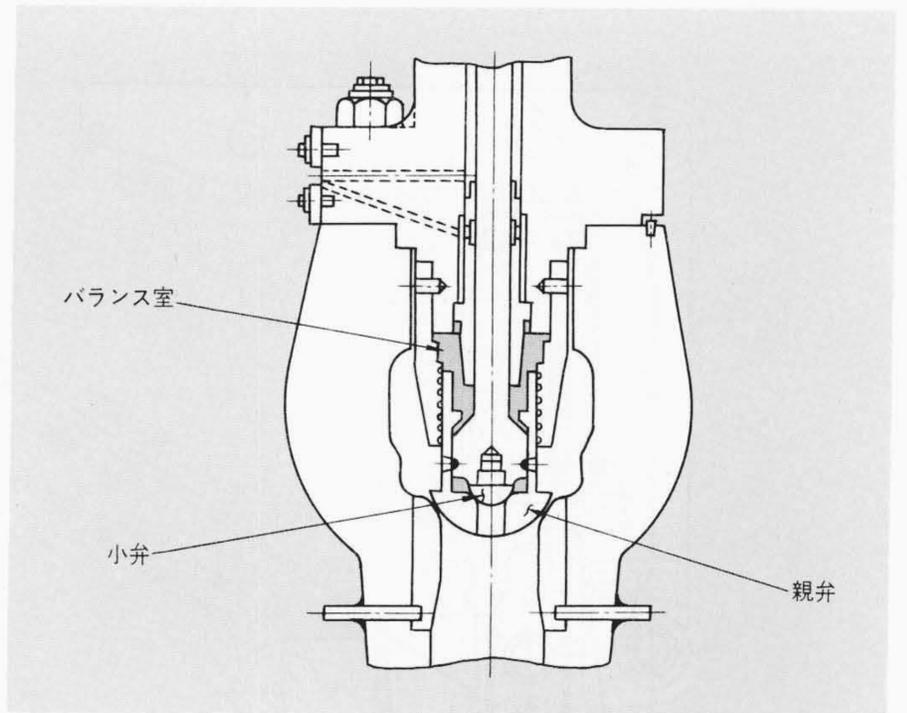


図11 バランス形蒸気加減弁 親弁上部にバランス室を設け、振動低減、開弁時の操作力軽減を図っている。

らかにした。対策は小弁リフトを変えることにより、容易に共振現象を避けることができる。この研究は、加減弁モデルによる空気試験、蒸気試験を行なって解明し、効果は実機でも実証されている。図12に振動実験装置、小弁リフトと振動変化の様子を示す。

次に、振動に対し弁棒ねじ部の強度向上を図るために、図13に示す弁棒-クロスヘッド構造の改善を行ない、共振疲労破壊試験装置により、その効果を確認した。

4.6 加減弁弁座固定法の改善

シェルマウント形の加減弁弁座は図14に示すように、蒸気室に圧入してリップ溶接を行ない固定している。そして、シート部を保護するため、ステライトを肉盛溶接している。

主蒸気温度の制御が不調で、大きな変動が繰り返えられるような場合、リップやステライト溶接部に大きな熱応力が発生する。このような温度変化にも耐えられるように開発したのが、図14に示すL-リングタイプ弁座である。すなわち、L-リング、ロックリングにより弁座を固定し、質量のほぼ同じリング同士を溶接して熱応力の軽減を図り、シート部には高じん性ステライト材を肉盛溶接するようになった。

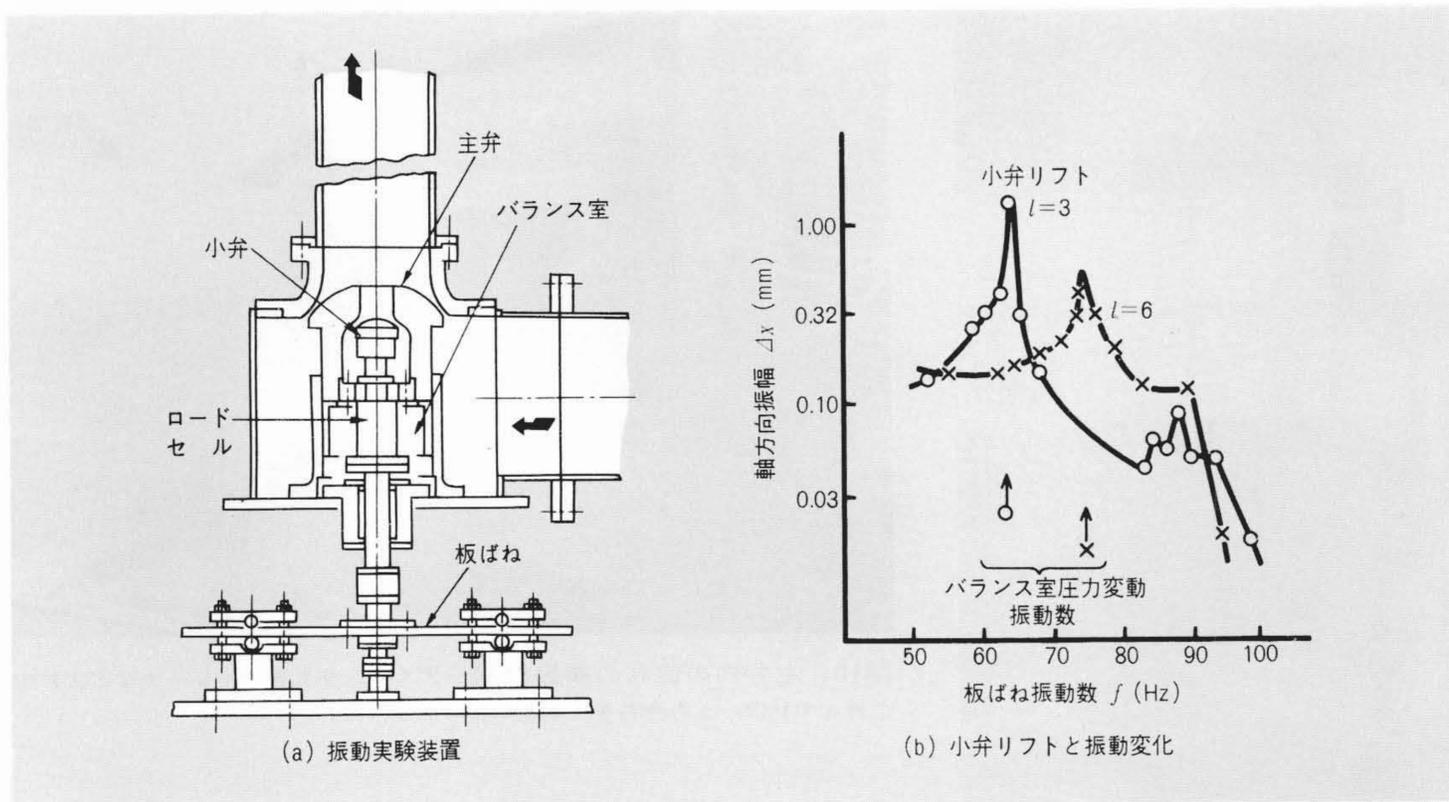


図12 加減弁の振動対策
バランス室の共鳴振動数と、弁体-弁棒系の機械的固有振動数が一致すると、大きな振動が発生する。

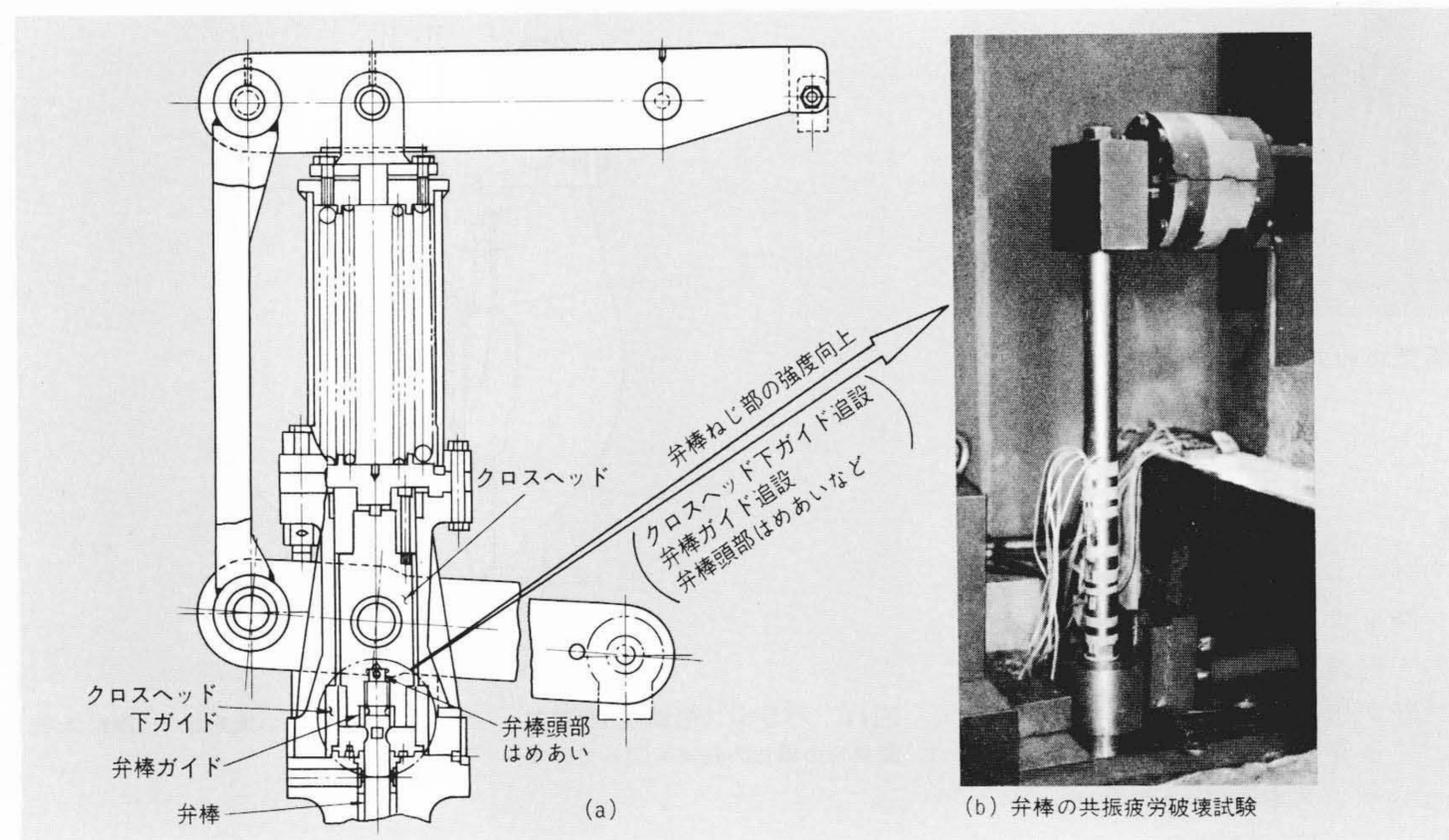


図13 弁棒-クロスヘッド構造の改善
蒸気加減弁の振動に対し、弁棒ねじ部に振動曲げ応力が作用しないように改善した。

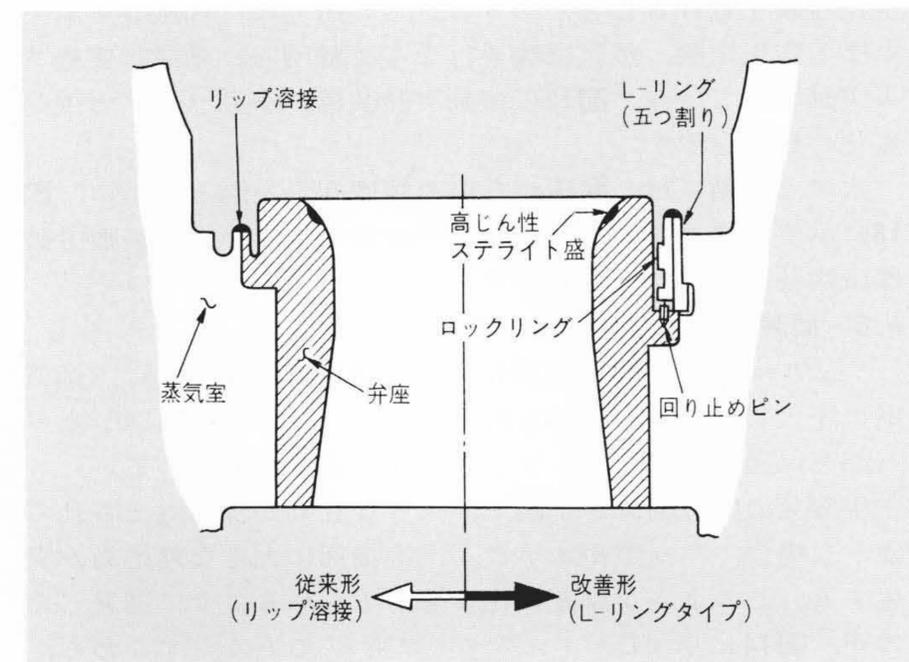


図14 加減弁弁座固定法の改善
五つ割りのL-リングとロックリングを溶接して弁座を固定し、弁体とのシート部には高じん性ステライトを肉盛溶接している。

5 結 言

高温、高压の過酷な条件下で、蒸気タービンを制御する役割を果たす主要蒸気弁の問題点と対策について述べた。今後更に、日立製作所独自の各種実験を重ね、信頼性と性能の向上に努めていく考えである。しかし、新技術の最終確認は、実機での実績を待たなければならない点多々あり、ユーザーの深い理解と協力を得なければならない点が多く、今後、よりいっそうの配慮を希求する次第である。

終わりに、多弁形主蒸気止め弁の実機試験に当たり、御指導、御高配をいただいた中部電力株式会社の関係各位に対し、深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 佐々木、外：CrMoV 鋼のクリープき裂進展，材料，25，270，236～240(昭51-3)
- 2) 青木：火力発電協会関東支部講習会教材(昭54-2)
- 3) 松浦、外：機学論文集，第901回講演会(昭53-8)