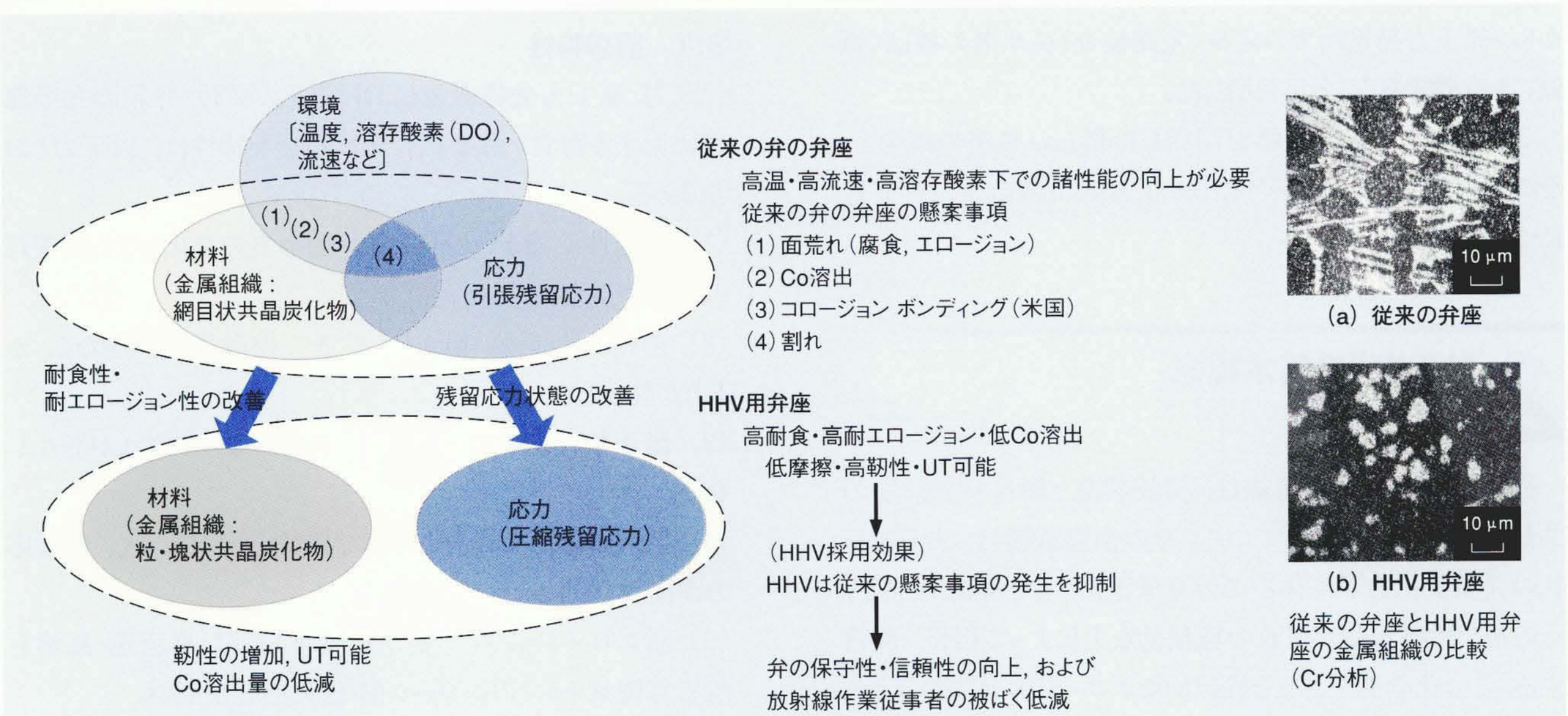
高性能弁「日立ハイパーバルブ(HHV)」

耐食性・耐エロージョン性・低Co溶出特性などに優れたHHVと，その性能の検証

Development of High-Performance Valve "HHV(Hitachi Hyper-Valve)"

清時 芳久 *Yoshihisa Kiyotoki*　近崎 充夫 *Mitsuo Chigasaki*



従来の弁座とHHV用弁座の金属組織の比較(Cr分析)

注：略語説明　HHV(Hitachi Hyper-Valve)，UT(Ultrasonic Test；超音波探傷検査)

従来の弁における諸懸案とHHVによる対応方針，およびHHV採用の効果

従来，弁の弁座にかかわるもろもろの懸案事象は，環境・材料・応力の組み合わせによって発生している。HHVは，金属組織の改造による耐食性・耐エロージョン性の向上と，残留応力の低減により，これらの諸現象の発生を抑制する。その結果，HHVの採用により，弁だけでなく，火力・原子力発電所の保守性・信頼性もいっそう向上させることができる。また，HHVの低Co溶出特性は，原子力発電所の放射線従事者の被ばくを，現状よりもさらに低減することができる。

火力・原子力発電所の弁の弁体・弁箱の弁座に肉盛しているCo(コバルト)基合金は，高温・高流速・高溶存酸素環境下で使用されるため，弁の保守性・信頼性の向上を図るには，特に耐食性，耐エロージョン性の向上が必要である。

日立製作所は，Co基合金の代表的な化学組成RCoCr-Aの範囲で共晶炭化物を粒状・塊状に分散させた合金を製作し，弁座に加工して，弁として必要な諸特性を評価した。その結果，この新しい弁座を持つ弁"HHV(Hitachi Hyper-Valve)"は，従来のCo基合金を肉盛した弁と比べて大幅な性能の向上を達成できることがわかった。特に，Co溶出量は従来の弁座の約$\frac{1}{10}$と少なくなることから，原子力発電所での被ばくの低減に寄与することができる。さらに，HHVの実機への適用性を確認するため，HHVとCo基合金を肉盛した従来弁を実機と同様の環境下に設置し，弁座の劣化具合を評価した結果，HHVは実機でも優れた耐食性，耐エロージョン性を発揮することを確認した。

1 はじめに

火力·原子力発電所の弁の弁体·弁箱の弁座部には，その劣化を抑制するために，Co(コバルト)基合金〔主に，RCoCr-A(AWS規格)〕を肉盛している。その肉盛部が，腐食·エロージョンによって減肉するので，弁座のエロージョンシールド，シート部としての機能が低下し，弁座の取り替えが必要となる。このため，弁の保守性·信頼性の向上を図る観点から，弁座のCo基合金の耐食性·耐エロージョン性の向上が求められるようになってきた[1)]。

弁座のCo基合金のエロージョン損傷については，種々の文献が，高温の溶存酸素雰囲気下において，Co基合金を構成する網目状の共晶炭化物と樹枝状晶〔デンドライト：基

地(じ)部〕のうち，網目状の共晶炭化物の腐食損傷を起点として発生する事象であるとしている。そのため，Co基合金の耐食性·耐エロージョン性の向上を目指して，従来の弁座に用いているCo基合金の化学組成範囲内で，共晶炭化物を微細な粒状·塊状にした合金を製作し，弁座に加工して，必要な諸特性の評価を行った。その結果，この新しい弁座は，高温·高溶存酸素雰囲気下の耐食性·耐エロージョン性能に優れているだけではなく，Co溶出量も非常に少ないことから，原子力発電所での定検(定期検査)従事者の被ばく低減にも有効であることが判明した。

ここでは，日立製作所が開発した新しい弁座の概念と，その弁座を用いた“HHV(Hitachi Hyper-Valve)”の特性について述べる。

2 “HHV”の基本概念

従来の弁座の金属組織は，樹枝状晶と網目状(連続)の共晶炭化物で構成されている。その損傷機構は，まず網目状の共晶炭化物が流体中の溶存酸素によって腐食，脱落し，その後，樹枝状晶が流れの機械的な力によって損傷，脱落する。この化学的な腐食と機械的なエロージョンが繰り返されることにより，弁座の損傷が拡大していくと考えられている。このように，従来の弁座に発生している損傷は，共晶炭化物の腐食·脱落が起点となっていることから，共晶炭化物の腐食·脱落を抑えると，エロージョンが抑制できることになる。したがって，従来の弁座の金属組織上の特徴である網目状の共晶炭化物を，微細な粒(塊)状にして不連続とすれば，弁座材の化学的な腐食とエロージョンの繰り返しが抑えられ，弁座材の損傷を抑制できると考えた。

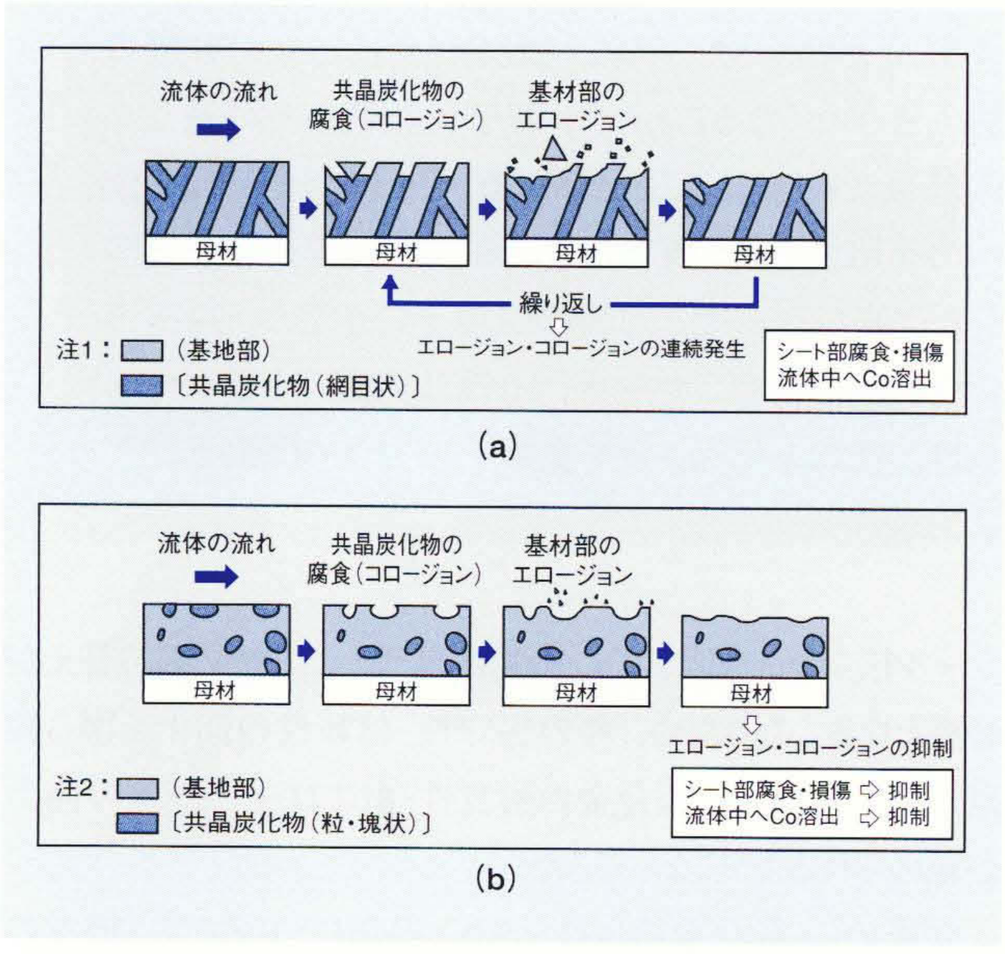


図1 従来の弁座(a)とHHV用弁座(b)の損傷機構

従来の弁座では，耐食性の低い共晶炭化物が連続的に腐食，脱落し，損傷が拡大するが，HHV用弁座では，それを抑制することができる。

従来の弁座と新しい弁座のそれぞれのエロージョン損傷のコンセプトを比較して，**図1**に示す。日立製作所は，この概念に基づいて，弁座とHHVを加工し，その特性評価を行った。

3 HHVの特性評価

3.1 要求特性

火力·原子力発電設備における弁の弁体·弁箱の弁座部に使用する耐食·耐摩耗合金に必要な特性は，以下のとおりである。

(1) 耐食性：漏えいの発生と作動不良の要因となる面荒れの発生が少ない。

(2) 摺(しゅう)動性·耐かじり性能：摺動抵抗が少なく，かじりが発生しない。

(3) 耐衝撃性能：機械的·熱的衝撃によって割れが発生しない。

(4) 低残留応力：母材との間で残留応力が少なく，残留応力が圧縮状態となる。

(5) 耐エロージョン性：使用環境下(高温·高流速·高溶存酸素雰囲気下)でのエロージョン耐久性能が高い。

(6) Co溶出の抑制：原子力発電所の定検従事者の被ばくを低減するため，使用環境下でのCo溶出量が少ない。

(7) 施工性·検査性：弁座すり合わせなどの高度な熟練作業が容易で，非破壊検査ができ，弁の保守性を向上させるため，特に，内在欠陥の検出が可能である。

3.2 特性評価

上述した7項目について行ったHHV用弁座の性能評価試験の結果は次のとおりである(**表1**参照)。いずれの項目でも，HHV用弁座の性能は，従来弁座と同等以上となっている。

(1) 耐食性に優れている(**図2**参照)。

(2) 摩擦係数が従来の弁座よりも小さい。

(3) 衝撃強度は従来の弁座に比べて2倍以上も大きく，強靭(じん)である。

(4) 弁座材と母材との異種金属間で発生する残留応力は原則的に圧縮状態となり，材料腐食環境下での割れ発生ポテンシャルが低減する。

(5) 高温溶存酸素雰囲気下での耐エロージョン性能(**図3**参照)は，従来の弁座の約10倍以上である。

(6) BWR(Boiling Water Reactor)での弁使用環境下でのCo溶出量(**図4**参照)は，従来の弁座の約$\frac{1}{10}$と少ない。

(7) 従来の弁座では困難であった超音波探傷検査(UT)による内在欠陥の検出が可能である。

以上の結果から，新たに開発したHHVは，火力·原子力発電設備の弁に適用可能と評価することができる。さらに，

表1 弁座に必要な諸特性の評価

HHV用弁座は，弁座として必要なすべての評価項目について，従来の弁座と同等以上の性能があり，多くの評価項目で，従来弁座の性能を大幅に上回る。

弁座に必要な特性		評価試験	HHV用弁座の性能（従来の弁座との比較）	備考（試験条件ほか）
(1)	耐食性	ストラウス試験（JISG0575）	○：腐食軽微（図2参照）	ただし，試験時間は72時間
		BWR環境長時間暴露試験	○：腐食軽微	温度：290 ℃，DO：8 ppm
(2)	摺動性・耐かじり性能	焼付き摺動試験	○：低摩擦	面圧：200 MPa
		口径80A，600A電動弁作動試験	○：低摩擦	圧力：7 MPa，温度：290 ℃
(3)	耐衝撃性能	常温シャルピー衝撃試験	○：高靭性（シャルピー衝撃値は2倍以上）	JISZ2202　Uノッチ試験片
		熱衝撃試験（常温⇔300 ℃）	△：破損なし	—
(4)	低残留応力	残留応力評価試験	○：圧縮残留応力（従来弁座は引張残留応力）	炭素鋼に盛金した場合
(5)	耐エロージョン性	常温水中エロージョン試験（JISR1615準拠）	△：損傷同等	—
		高温水噴流エロージョン試験	○：損傷軽微（図3参照：損傷体積$\frac{1}{10}$以下）	温度：290 ℃，DO：8 ppm 流速：60 m/s
(6)	Co溶出の抑制	実機環境Co溶出試験	○：低Co溶出特性（図4参照：溶出量約$\frac{1}{10}$）	温度：220 ℃，DO：200 ppb
(7)	施工性・検査性	機械加工・すり合せ加工性	△：加工性同等	—
		超音波探傷検査（UT）	○：超音波による探傷可能（従来の弁座は不可）	—

注1：従来の弁座の信頼性・保守性を区別させるには，項目(1)，(3)，(4)，(5)，(6)，(7)での性能の向上が必要
注2：○（従来の弁座よりも性能向上），△（従来の弁座と同等。ただし，性能向上が不要）

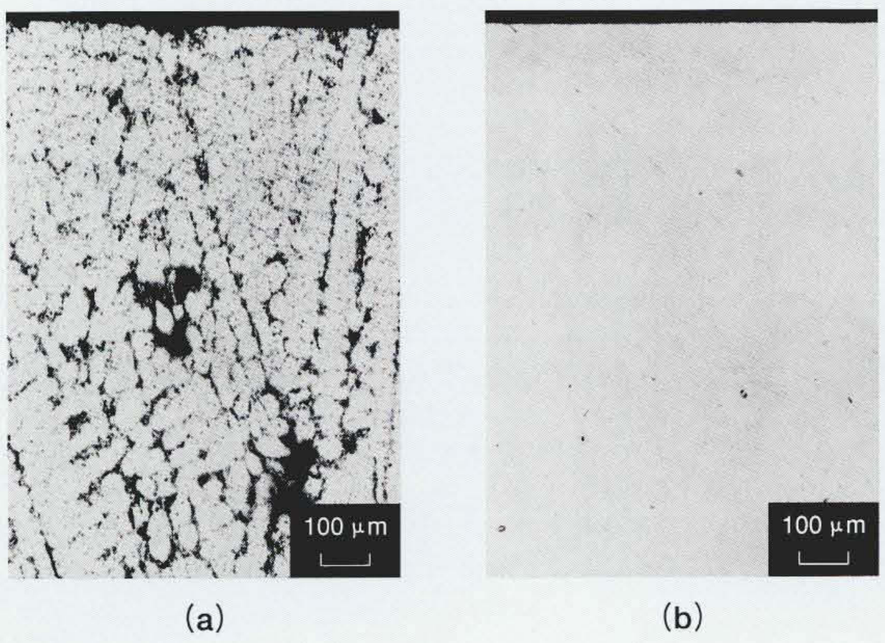


図2 従来の弁座（a）とHHV用弁座（b）の耐食性での比較

ストラウス試験（JISG0575）により，耐食性を比較評価した。従来の弁座では，共晶炭化物が選択的に腐食損傷しているが，HHV用弁座では，ほとんど損傷がない。

HHVの火力・原子力発電設備への採用は，設備の信頼性・保守性の向上が図れるうえに，特に，原子力発電設備では，定検従事者の被ばく低減にも寄与できることがわかった。

3.3 実機における評価

上記のように良好な特性が実機でも発揮できることを確認するため，中国電力株式会社島根原子力発電所内に，今回開発した新しい弁座を備えた弁“HHV”と従来の弁座を備えた弁を約1年間設置し，弁座の状態を比較評価した（**図5**参照）。その結果，HHVは，従来の弁座を備えた弁に比べて耐食性，耐エロージョン性に著しく優れた性能を持つことが確認できた。

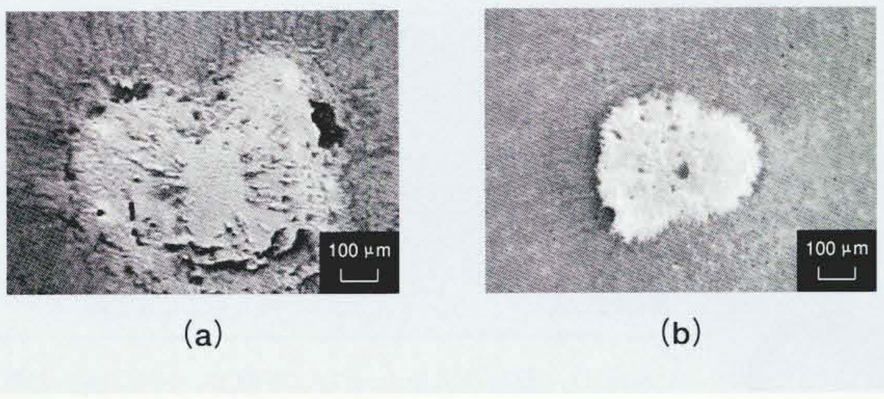


図3 従来の弁座（a）とHHV用弁座（b）の耐エロージョン性での比較

高温（290 ℃），高溶存酸素（DO：8 ppm）の噴流による耐エロージョン性を比較評価した。従来の弁座に比べてHHV用弁座の損傷は非常に少なく，HHV用弁座の耐エロージョン性は高い。

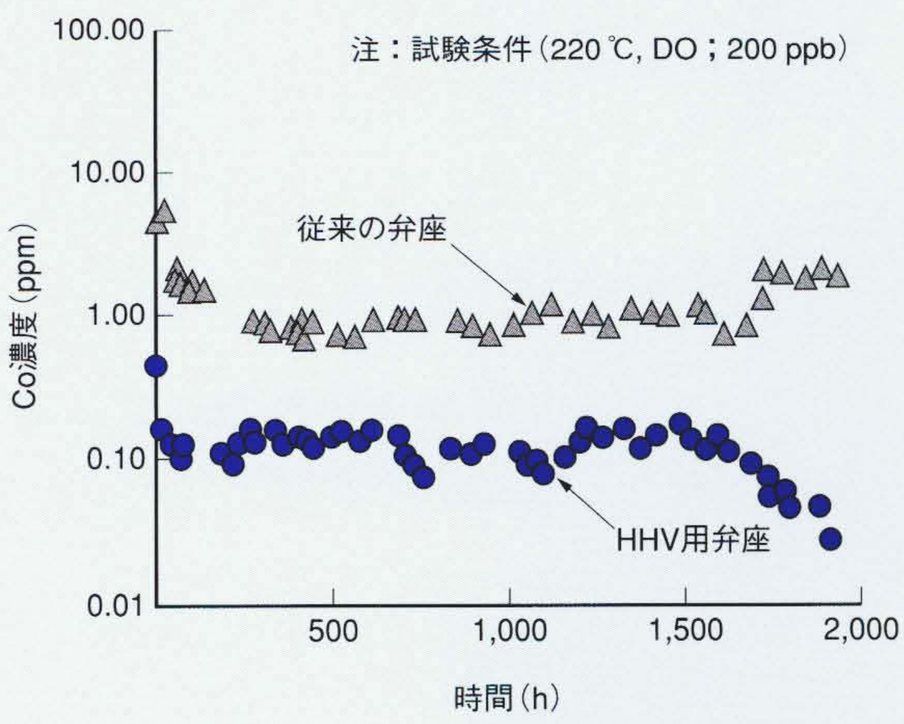


図4 従来の弁座とHHV用弁座のCo溶出特性での比較

従来の弁座に比べてHHV用弁座のCo溶出量は，約$\frac{1}{10}$となる。このHHVによるCo溶出量の低減は，原子力発電所の放射線従事者の被ばくを半減させる効果があり，弁座にCoフリー材を用いた場合とほぼ同様の効果をもたらす。

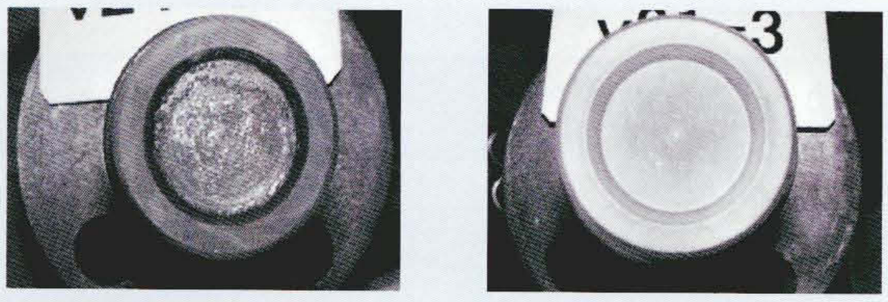


図5 運転プラントにおける従来弁(a)とHHV(b)の性能比較

従来弁の弁座は，腐食・エロージョンによって，劣化(黒変)している。一方，HHV用弁座は，ほとんど劣化していない。

4 おわりに

ここでは，火力·原子力発電設備の弁の信頼性·保守性の向上のために開発した新しい弁座と，それを用いた“HHV(Hitachi Hyper-Valve)”の基本コンセプト，およびその性能について述べた。

現在，火力·原子力発電設備用のほとんどの弁座には，網目状の共晶炭化物を持つCo基合金肉盛材が使用されているが，HHVを用いることで，弁座の腐食·エロージョンによる劣化を抑制できるばかりでなく，弁座の内在欠陥の検出が可能となる。さらに，弁座の腐食によって生じるコロージョンボンディングと呼ばれる安全弁設定圧のドリフト現象の発生や，腐食によって発生する欠陥を基点とした弁座割れを抑止できることから，火力·原子力発電設備の信頼性·保守性の向上を図ることができる。

また，火力·原子力発電設備の弁の弁座以外にも，Co基合金肉盛材がエロージョン損傷を生じる可能性が指摘されている[1),2)]。今回開発した新しい弁座材は，Co基合金肉盛材の高温，高溶存酸素雰囲気でのエロージョン損傷抑制というニーズに広くこたえる特性を持つものである。日立製作所は，今後もHHVに用いた技術の適用の拡大を図っていく考えである。

終わりに，開発した新しい弁座材の性能確証にあたっては，中国電力株式会社の関係各位から多大なご協力をいただいた。ここに深く感謝する次第である。

参考文献

1) 明石：酸素処理法適用時の耐エロージョン性材料の評価，R&D News Kansai(2001.2)
2) 樋口：新しいボイラー給水処理法の適用拡大，中部電力株式会社技術開発ニュース，No.82(1999.10)

執筆者紹介

清時芳久

1980年日立製作所入社，電力・電機グループ 原子力事業部 原子力生産本部 所属
現在，原子力プラントの建設・定検業務に従事
日本原子力学会会員
E-mail：y_kiyotoki @ pis. hitachi. co. jp

近崎充夫

1970年日立製作所入社，日立研究所 材料・デバイス研究センタ エネルギー材料研究部 所属
現在，原子力発電所用材料の研究開発に従事
工学博士
日本金属学会会員，日本鉄鋼協会会員
E-mail：mchigasa @ gm. hrl. hitachi. co. jp