大口径高温高圧弁（コバルトフリー弁座材付）の実証試験

竹島菊男*, 熊谷 真*, 千葉良照**, 江副重幸***, 平野克己***

* 株式会社日立製作所

** 株式会社日立協和エンジニアリング

*** 岡野バルブ製造株式会社

Performance Test of Large Size Valves with Co-free Seat Materials for High Temperature and High Pressure Services

Kikuo Takeshima*, Shin Kumagai*, Yoshiteru Chiba**,
Shigeyuki Ezoe*** and Katsumi Hirano***

* Hitachi Ltd

** Hitachi Kyowa Eng.

*** Okano Valve Mfg. Co.

Cobalt based overlaying materials have been widely used as valve seat materials for high temperature and high pressure services, because of the high corrosion and wearing resistances. In nuclear power plants, however, the cobalt-based alloys would be the potential source of ^{60}Co in the reactor water, thus alternate materials (Co-free materials) have been required and studied, especially for use as the large size valve seats on the feed water and condensate lines. From screening test and actual model test, Ni based alloys were selected as Co-free seat materials.

The performance test of large valves (nominal size 300 A and 600 A) with Ni based alloys (A-1 and A-3) seats were done under the condition of high temperature and high pressure 100 for the 300 A valve and 50 cycles for the 600 A valve and the results were confirmed to be good.

Key words : valve seat Co-free, Ni based alloy performance test

1. 緒 言

原子力発電所に使用されている高温高圧弁の弁座部表面には全閉時の気密要求から耐摺動性、耐摩耗性および耐食性に優れたCo基合金であるステライトNo.6 (AWS規格RCrCo-A, 主要成分30Cr-4W-1C-残Co)が硬化肉盛されている。しかしながら、弁開閉時の摺動における摩耗および溶出などによりCoが系統内に放出され、プラント定期検査時の被ばく線量率を上昇させる可能性が指摘されている。この傾向は弁座の面積が広く、使用台数が多い給復水系の大口径仕切弁に多く見られ、弁座材のコバルトフリー化が要望されている。

仕切弁の弁座材は耐摩耗性、耐食性はもちろん、耐焼付摺動性が大きなファクターとなるので、この点を重視する必要がある。前報¹⁾では試験片を用い、候補材を絞り込むためのスクリーニング試験、BWRプラントでの使用条件を負荷した実機模擬試験を行い、更に弁座材として必要な材料特性調査試験を行い、ステライトの代替材として、新しく開発したNi基合金を含めて、弁座材の組合せを2組見出したことを報告した。

コバルトフリー弁座材を小口径弁に使用している例²⁾はあるが、仕切弁の弁座は口径が大きくなると当たり面

の歪量が増加する傾向にあり、弁としての耐焼付摺動性を確認するには、実機プラントで使用されている口径に近い弁を使用し、実証試験を実施する必要がある。しかし、現在まで高温高圧用大口径弁による作動試験は実施されていない。本報では、弁による実証試験は事前の予備試験として呼び口径300Aの供試弁（以下300A弁と称す）を用いて、2組の弁座硬化肉盛材の試験を行い、最適な組合せを見出した。更に、BWRプラントの給復水系統に設置されている仕切弁の最大口径である呼び口径600Aの供試弁（以下600A弁と称す）の弁座部に最適組合せの弁座材を適用し、実用条件下での常温および高温における実証試験を行った。

また、600A弁を用い、既設の原子力プラント配管に設置されている仕切弁の弁座材を交換することを考慮し、弁座側をステライト、弁体側を開発したNi基の弁座材とした組合せについても高温における実証試験を行った。

2. 供 試 材

Fig. 1に原子力発電所給復水系に使用されている代表的な弁である口径600mmの高温高圧用大口径仕切弁を示す。弁体(Disc)と弁座(Seat)が接触するシール面は長期間の弁開閉に耐え、流体遮断時に気密を保つという機能をもつために、それぞれのシール面の表面には弁座材が肉盛溶接されている。この弁座材には、(1)高温高圧状態での弁開閉時の摺動性が良いこと、すなわち多数回作動においても表面粗さはメンテナンス時の摺合せにより元の状態に復帰可能なこと、(2)硬度が高く傷が

* 〒317-8511 日立市幸町3-1-1 (3-1-1, Saiwai-cho, Hitachi, 317-8511 Japan)

** 〒317-0072 日立市弁天3-10-2 (3-10-2, Benten, Hitachi, 317-0072 Japan)

*** 〒800-8601 北九州市門司区中町1-14 (1-14, Nakamachi, Moji-ku, Kitakyusyu, 800-8601 Japan)

Fig. 1 Configuration of wedge gate valve used at nuclear plants.

つきにくいこと, (3) 摩擦抵抗が小さく多数回作動後においても変化が少ないこと, (4) 肉盛溶接性が良好なこと, (5) 耐食性が良好なことなどが要求される。

Table 1 に本試験に使用した供試弁座材の化学成分を

示す。このうち上記特性を考慮した場合, 前報¹⁾の試験片による試験結果では, 弁体側に A-1 合金 (17.5Cr-6.8Si-0.9B-残Ni), 弁座側に A-2 合金 (10Cr-4.5Si-0.45B-残Ni) または A-3 合金 (10Cr-5.5Si-0.2B-40Fe-残Ni) を使用する組合せが良好であることを報告したが, これらの材料を中心に 300 A 弁, 600 A 弁にて実証試験を行うことにした。

A-3 合金が本研究の開発合金であり, 既存の A-2 合金に Fe を 40% 程度になるように多く添加したものである。

3. 試験方法

3.1 供試弁および供試材の組合せ

Fig. 2 に 300 A 弁の構造図と試験装置の系統図を示し, Fig. 3 に 600 A 弁の構造図を示す。供試弁は給水系に使用されている圧力クラス 900 LB の仕切弁をベースとして製作した。300 A 弁は複数の弁座材の試験が可能のように, 弁座をねじ込み式とし交換できる構造とした。一方, 600 A 弁の弁座は標準構造に合わせ, 弁箱にシール溶接する構造とした。

Table 2 に本試験で実施した弁座材の組合せを示すが, 300 A 弁の弁座材は前報¹⁾の試験片による試験結果で良好な結果を示した A-1 (弁体側), 弁座側に A-2 および A-3 (弁座側) の Ni 基の合金を使用した。

一方, 600 A 弁の供試材には 300 A 弁での結果が良好であったものを適用することにした。さらに 600 A 弁

Table 1 Chemical composition of specimen.

Material (Symbol)	Chemical composition (%)									Main composition	Hardness (HV)
	Co	Ni	Cr	W	Fe	C	B	Si	Sn		
A-1	—	Bal	17	1.2	5	0.3	0.9	6.8	0.7	17.5Cr-6.8Si-0.9B-baseNi	550
A-2	—	Bal	10	2	2.5	1	0.45	5.4	—	10Cr-5.5Si-0.45B-baseNi	430
A-3	—	Bal	9.8	1.6	40.4	0.7	0.2	4.4	—	10Cr-4.5Si-0.2B-40Fe-baseNi	300
ST (stellite. No.6)	Bal	3	28	4	3	1	—	—	—	30Cr-4W-1C-baseCo	430

Fig. 2 Configuration of 300 A size test valve and general test apparatus.

item	Parts name	numbre	material
1	Body	1	SCPH2
2	Bonnet	1	SCPH2
3	Disc	1	SCPH2
4	Seat-ring	2	SCPH2
5	Bolts	20	ASTM A193 B7
100	Actuator	1	—

Fig. 3 Configuration of 600 A size test valve.

では A-3 (弁体側) と ST (ステライト No. 6, 弁座側) の組合せのものについても作動試験を実施した。これは既設の原子力プラント配管に設置されている仕切弁の弁座肉盛材を交換することを考慮した場合、ステライトの弁座は弁箱に溶接で取り付けられており、交換には特殊な機器を用いて行う必要があり、弁体のみを取り替えることが考えられる。この場合を想定したものであり、前報¹⁾の実機を模擬した試験片による摺動試験においても、摺動性が良好であることが確認された組合せの一つである。

Table 2 The combination between test valve and seat material.

Test valve size	Test No.	Test condition	Seat materials		Remarks
			Disc	Seat-ring	
300A	300R-A2	Cold test	A-1	A-2	○
	300R-A3			A-3	○
	300H-A2	Hot test	A-1	A-2	○
	300H-A3			A-3	○
600A	600R-A2	Cold test	A-1	A-2	—
	600R-A3			A-3	○
	600H-A2	Hot test	A-1	A-2	—
	600H-A3			A-3	○
	600H-ST	Hot test	A-3	ST	○

○: Test done, —: No test

弁座材の肉盛施工方法は、前報¹⁾に述べたテストピース製作時に使用した方法と同じとし ST の供試材の場合はガス溶接、Ni 基合金の供試材の場合は PTA 溶接を採用した。

3.2 試験方法

a) 試験条件

Table 3 に 300 A 弁および 600 A 弁の作動試験条件と試験項目を示す。本研究は大口径 600 A 仕切弁により、常温水中において 8.62 MPa (BWR プラントの設計圧力)、また 288°C の高温水中では 7.35 MPa (BWR プラントの標準的な運転条件) のそれぞれの差圧が弁座面に負荷された状態で 50 回の作動を行い、弁座摺動面が健全であることを確認することが最終目的であるため、600 A 弁に対してはそれと同じ条件で作動試験を行った。

一方、その前段で行った 300 A 弁による予備試験は、600 A 弁の面圧と合計の摺動距離が同じになるように試験差圧と作動回数の補正を行った条件で実施した。すなわち、600 A 弁の常温試験の差圧 8.62 MPa、および高

Table 3 Operating test condition by test valves.

Test items	Test condition		Mesuring items
	300A valve	600A valve	
Leakage test	Fluid: Cold water Test pressure: 8.62 MPa Holding time: 3 minutes	(same) (same) (same)	Seat leakage rate
Operating test using room temperature water	Fluid: Cold water Differential pressure: 9.66 MPa Operating cycles: 100 cycles	(same) 8.62 MPa 50 cycles	Operating cycles Operating condition Wear coefficient
Operating test using high temperature water	Fluid: Hot water (275°C) Differential pressure: 8.24 MPa Operating cycles: 100 cycles	Hot water (288°C) 7.35 MPa 50 cycles	Operating cycles Operating condition Wear coefficient
Leakage test	Fluid: Cold water Test pressure: 8.62 MPa Holding time: 3 minutes	(same) (same) (same)	Seat leakage rate
Overhaul inspection	Overhaul after test	(same)	Appearance surface roughness

Fig. 4 Hot test condition by using 600 A size test valve.

温試験の差圧 7.35 MPa が弁座面に負荷された時に、弁座面に生じる平均面圧はそれぞれ 111.5 MPa (11.4 kgf/mm²), 95.1 MPa (9.7 kgf/mm²) となるため、300 A 弁ではこれと同等の面圧を生じさせる差圧条件 9.66 MPa, 8.24 MPa で試験を行った。また、600 A 弁の 50 回の合計摺動距離は 300 A 弁の 80 回程度に相当するので作動回数は余裕をみて 100 回とした。

b) 試験装置

300 A および 600 A 両弁の試験は Fig. 2 の系統図に示した高温高圧水循環装置（以下試験装置と称す）を用いて実施した。Fig. 4 に 600 A 弁の高温試験実施状況を示す。

まず供試弁の弁棒が垂直になるように試験架台に取り付けて支持した後、供試弁を試験装置に接続した。

Fig. 2 の試験装置において、水質調整槽にて溶存酸素濃度を原子力環境と同じ 200 ppb になるように調整した水を高圧ポンプで加圧し、さらに予熱器で発生した高温水を供試弁内に送り込んだ。試験温度の調節は供試弁の外側に設置した加熱装置によって行い、弁箱各部に熱電対を取り付け、各部の温度分布が均一になるようにした。試験差圧の設定は試験装置の切替弁 V1～V4 の操作によって行い、試験差圧は圧力計 P1 と P2 で測定した。切替弁 V1～V4 から排出された高温水は冷却器とイオン交換樹脂を介して水質調整槽に戻る系統構成になっている。

試験差圧の設定方法を 600 A 弁の場合について説明すると、常温試験時の差圧 8.62 MPa は入口側を 8.62 MPa とし、出口側を大気圧 (0 MPa) とすることで得られるが、288°C 高温水中試験では入口側を 15.2 MPa (試験装置の最大値) とし、出口側を 7.85 MPa とすることにより差圧 7.35 MPa を確保した。出口側の圧力を 7.85 MPa としたのは 288°C の飽和蒸気圧力が 7.23 MPa であるので、供試弁の出口側で高温水がフラッシングしないように飽和蒸気圧よりも 0.62 MPa 高くしたものである。

なお Table 3 において 300 A 弁の高温試験温度を運転温度の 288°C よりやや低い 275°C としたことを示した

が、これは入口側を試験装置の最大圧力の 15.2 MPa とした場合、試験差圧 8.24 MPa を確保するためには、出口側を 6.96 MPa とする必要がある。しかし 288°C のこの圧力ではフラッシングを生じて試験が実施できないため、フラッシングを生じない試験温度まで下げたためである。

次に、作動試験における弁の開閉は供試弁上部の電動操作機で行い、弁座と弁体のラップが完全に切れて試験差圧がなくなるストロークの位置でリミット調整を行い、5～10 分（弁座部の温度が安定する時間）間隔で 1 サイクルの開閉作動を行った。

4. 試験結果

4.1 300 A 弁の結果

300 A 弁の作動試験結果は以下を目標として評価を行った。

① 100 回作動を達成すること。

材料の組合せが適当でない場合は弁座摺動面に焼付によるかじり傷などが発生し、弁座シール機能が失われて漏洩量が顕著に増加する。このような場合は作動試験の継続は不可能な状態になることから、作動回数が 100 回を達成することを第 1 の目標とする。

② 100 回作動試験後の弁座漏洩量は、弁使用後の許容漏洩量に関する公的な基準値はないため、この試験では参考値として、弁製造時の許容漏れ量 (MSS 規格 SP-61 の規定値 2 ml/25 mm/h) の 10 倍 (20 ml/25 mm/h、この値は通常は 3 分間の漏れ量を測定するので 300 A 弁の場合は 12 ml/3 分の漏洩量に相当する) 以内であることを目標として評価する。100 回作動試験後にこの程度の漏れ量であれば十分実用に供することが可能な範囲であると考えられる。

③ 試験後の開放検査において、摺動面に焼付によるかじり傷がなく、表面粗さは 2.0 μmRa 以下であることを目標とする。これはプラント供用中に定期

Table 4 Operating test result at cold and hot temperature by using 300 A valve.

Test No.	Test condition	Material		Test results				Estimation
		Disc	Seat	Operating cycles	Leakage rate after test (ml/25mm/h)	Overhaul inspection		
						Appearance	Surface roughness (μmRa)	
—	Criterion			≥100	≤20	No stick	≤2.0	—
300R-A2	Cold test Temperature: Cold	A-1	A-2	100	0.67	Good	Disc: 0.06~0.44 Seat: 0.06~0.60	○
300R-A3	Differential pressure: 9.66 MPa		A-3	100	0.83	Good	Disc: 0.06~0.49 Seat: 0.06~0.35	○
300H-A2	Hot test Temperature: Hot water (275℃)	A-1	A-2	18 (Large leakage)	500	Sticking	Disc: 0.40~5.5 Seat: 0.20~1.6	×
300H-A3	Differential pressure: 8.24 MPa		A-3	100	5.25	Good	Disc: 0.08~0.90 Seat: 0.08~1.0	○

Fig. 5 The picture of stick on the disc seat surface.

的に実施されるメンテナンス時の摺動で十分修復可能な範囲である。

Table 4 に 300 A 弁の作動試験結果を示す。常温試験においては弁体 A-1 と弁座 A-2 の組合せ (Test No.: 300 R-A 2) および弁体 A-1 と弁座 A-3 の組合せ (Test No.: 300 R-A 3) は、ほぼ同様な試験結果を示して 100 回作動を達成した。弁座漏洩量や表面粗さ測定値も目標値を十分に満足した。

高温試験においては弁体 A-1 と弁座 A-2 の組合せ (Test No.: 300 H-A 2) は 18 回目の作動で異常が発生し、その時点で実施した弁座漏洩量は目標値 (20 ml/25 mm/h) を大幅に上回り、500 ml/25 mm/h となった。また、開放検査の結果、摺動部に Fig. 5 に示すようなかじり傷が発生し、表面粗さは最大で 5.5 μmRa を示し、目標値である 2.0 μmRa 以下を大幅に上回った。一方、弁体 A-1 と弁座 A-3 の組合せ (Test No.: 300 H-A 3) は常温時に比べ、試験後の漏洩量は 6 倍程度の 5.25 ml/25 mm/h に増え、表面粗さが 2~3 倍程度の 1 μmRa となったが、それぞれの目標値を十分に下回っており、高温時においても十分使用できると評価される結果を示した。Fig. 6 に高温試験で良好な結果を示した組合せの 100 回作動後の外観写真を示すが、摺動傷がほとんどない表面状態を示していた。

Fig. 6 Seat condition of disc and seat-ring after 300 A valve operating test.

4.2 600 A 弁の結果

600 A 弁の作動試験結果は 50 回作動を達成し、50 回作動試験後は 300 A 弁の場合と同様、漏れ量が試験前許容漏洩量の 10 倍以内、および開放検査時の外観検査で大きな漏洩に結びつくようなかじり傷の発生がなく、表面粗さは 2.0 μmRa 以下であることを目標とした。

Table 5 に 600 A 弁の作動試験結果を示す。

600 A 弁の試験は、300 A 弁の結果が良好であった Ni 基合金の組合せ (A-1 と A-3) と、さらにステライト弁座と Ni 基合金弁体の組合せ (ST と A-3) についても試験を行った。

Ni 基合金 A-1 と A-3 を組み合わせた常温試験

Table 5 Operating test result at cold and hot temperature by using 600 A valve.

Test No.	Test condition	Material		Test results			Estimation
		Disc	Seat	Operating cycles	Leakage rate after test (ml/25mm/h)	Overhaul inspection Appearance Surface roughness (μmRa)	
—	Criterion			≥50	≤20	No stick ≤2.0	—
600R-A2	Cold test Temperature: Cold	A-1	A-2	(No test)	—	—	—
600R-A3	Differential pressure: 8.62 MPa		A-3	50	0.10	Good Disc: 0.04~0.09 Seat: 0.03~0.08	○
600H-A2	Hot test Temperature: Hot water (288°C)	A-1	A-2	(No test)	—	—	—
600H-A3	Differential pressure: 7.35 MPa		A-3	50	14.25	Good Disc: 0.14~1.0 Seat: 0.60~1.0	○
600H-ST	Same as upper items	A-3	ST	50	11.0	Good Disc: 0.56~0.92 Seat: 0.39~0.61	○

Fig. 7 Seat condition of disc and seat-ring after 600 A valve operating test.

(Test No.: 600 R-A 3) は 300 A 弁と比較しても同等の結果を示した。また、高温試験 (Test No.: 600 H-A 3) は、300 A 弁と比較して少し漏洩量が増えて 14.25 ml/25 mm/h になり、表面粗さについても少し粗くなっているが、1.0 μmRa 程度であり、それぞれ目標値を満足していた。

一方、弁座が ST、弁体が A-3 の組合せによる高温試験 (Test No.: 600 H-ST) 結果も目標値を十分に満足し、良好な結果を示した。

高温作動試験後の弁体と弁座の外観写真を Fig. 7 に示す。

Fig. 8 に 600 A 弁作動試験における摩擦係数の測定結果を、現用材のステライト材 (ST) 同士の試験例と比

Fig. 8 The relation between wear coefficient and operating cycles of 600 A size test valve.

○; A-1/A-3 Cold water, ●; A-1/A-3 Hot water (288°C), ▲; A-3/ST Hot water (288°C), □; ST/ST Cold water, ■; ST/ST Hot water (288°C).

較して示す。A-1 弁体と A-3 弁座を組み合わせた場合の摩擦係数は、常温、高温試験とも、ST 同士の摩擦係数とほぼ同程度の値を示した。また A-3 弁体と ST 弁座の摩擦係数も約 0.3 程度であり良好な値を示した。高温試験の摩擦係数は初期と 50 回作動後とでは変化は小さかったが、常温試験での摩擦係数は作動回数とともに漸増した。しかし 50 回作動後においても 0.5 以下であり、問題のない値であった。

5. 考 察

以上のように 300 A 弁および 600 A 弁による作動試験の結果では、A-1 (弁体) と A-3 (弁座) の組合せおよび A-3 (弁体) と ST (弁座) が良好であることが実証された。

開発した A-3 合金は前記のように既存の A-2 合金に Fe を 40 %程度になるように多く添加したものであるが、これらの A-2 および A-3 合金では Fig. 9 に示すように Fe 含有量と硬さの間には、Fe 量が多くなるに従

Fig. 9 The relation of Fe component volume and hardness of A-2 and A-3 alloys.

Fig. 10 The relation between sliding distance, hardness difference and sliding characteristic of disc and seat A alloys.

○; Good (Room temperature), △; Good (200°C Hot water), ●; Good (300°C Hot water), ×; No good (Room temperature), *; No good (300°C Hot water).

って硬さが小さくなるという関係を有している。

一方, Fig. 10 に, 試験片による前報¹⁾の試験結果や今回の供試弁による試験結果から, 弁座側合金 (A-2, A-3) と弁体側合金 (A-1) の硬度差, 摺動距離の大きさとの摺動性良否の関係を整理して示す。この図から, (1) 耐焼付摺動性については, 弁座側の硬さが小さく (Fe 量が多く), 弁体側の硬さが大きい方, すなわち相互に組み合わせた弁座材の硬度差が大きい方が摺動性は良好となる傾向を示し, (2) 1 回作動当たりの摺動距離は短い場合よりも長くなると摺動性は低下する傾向になることが分かった。1 回当たりの摺動距離 6 mm では硬度差が約 HV 60, 摺動距離 20 mm では約 HV 200 以上で良好な摺動結果が得られるようになり, 摺動距離が長くなる大口弁では大きい硬度差が必要になった。

Fig. 11 に 600 A 弁の高温作動試験を実施した弁座面から採取した摩耗粉の SEM による観察結果を示すが, 形状は薄く引き伸ばされた箔片状であり, X 線回折を

Fig. 11 SEM pictures of wearing powder.

行った結果, 主として NiFe_2O_4 の酸化物が認められた。

Ni 基合金の弁座部の摺動におけるかじり発生例として, かじりは弁座側 (低硬度側) 合金がせん断破壊をすることから始まり, 摺動の継続により相手の弁体側 (高硬度側) 合金にも対応して同様のかじり傷を発生させているが³⁾, これは ① 低硬度側合金のせん断破壊 → ② 摺動面がせん断される場合にはせん断部の温度が上昇し両合金が凝着し, 高強度合金が生成される → ③ 弁体側 (高硬度側) のせん断破壊が生じるという過程でかじり傷が拡大するものと考えられる。従って, 本試験結果のように高硬度材の A-1 と低硬度材の A-3 を組み合わせた場合はせん断力が小さい A-3 が優先的に摩耗することによってかじり傷を防ぐ効果があるものと考えられる。さらに, 生成した酸化物が両合金の凝着を防止する効果や潤滑性を向上させたものと考えられ, A-3 合金の Fe がこの酸化物の生成を促進させる役割を有していることが弁体材との硬度差と共に摺動性を向上させる原因として考えられる。

硬度差が小さい合金の組合せ材において, 摺動距離の大きさが摺動性に影響を及ぼしていた。これは低硬度側合金の Fe 量が少ない場合は, 長い距離の摺動によって酸化物が形成され難くなり, 摺動面のミクロ的突起部で凝着が生じる。そのため弁座材に働くせん断力が大きくなり, 弁座材の内部からせん断破壊を生じて摺動傷を発生させたものと考えられる。

常温試験の場合, 摩擦係数が作動回数とともに漸増した。これは常温水中の摺動では, 摺動面のミクロ的突起部が摩耗して, 次第に摺動面が鏡面状態になり, 金属面が完全な密着状態になって水による潤滑作用が少なくなること。さらに常温試験では, 高温試験の場合のような潤滑性のある酸化物の生成が少ないことなどによるものと考えられる。

6. 結 論

原子力プラントの給復水系などの仕切弁に適用するコバルトフリー弁座材は、弁出入口に大きな差圧を受けた状態で開閉作動を行ったとき、弁座部にかじりが生じないことが重要である。今回は前報¹⁾の試験片での試験に引き続き、300 A 弁および 600 A 弁の実弁による作動試験を行い以下の結論を得た。

1) 弁座に Ni 基合金を肉盛した実機サイズ弁により実機模擬条件下での作動試験を行った結果、弁体側に A-1 と弁座側に開発合金の A-3 を組み合わせることによって良好な摺動性が得られることが確認された。

2) この組合せが良好であったのは、A-3 合金に Fe を多く含有させたため硬さが小さくなり、摺動に際してせん断力が小さい A-3 合金側が優先的に微小な摩耗を生じ、さらに NiFe_2O_4 を主とした酸化物を生成することによって両材料間の焼付の発生を防止していることが考えられた。

3) 既存プラント用弁へ Ni 基の弁座材を適用する場合、弁座側を現状のステライト No.6 をそのままとし、弁体側のみを A-3 合金に取り替えることが現実的であ

るが、その組合せについても 600 A 弁で良好な摺動性が得られることを確認した。

4) 上記のような結果は、前報¹⁾の試験片による実機を模擬した試験結果を裏付ける結果となり、試験片による摺動試験において適切な試験条件を選ぶことによって有効な実機評価試験が実施できることが分かった。

5) 開発した Ni 基の A-3 合金は原子力プラントの大口径高温高圧弁座材として十分適用可能な材料であるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 竹島菊男, 熊谷 真, 千葉良照, 江副重幸, 平野克己 (K. Takeshima, S. Kumagai, Y. Chiba, S. Ezoe and K. Hirano): 材料と環境 [Zairyo-to-Kankyo (Corros. Eng.)], 51, 180-187 (2002).
- 2) I. Inglis, E. V. Murphy and H. Ocken: *Surface and Coatings Technology*, 53, 101-106 (1992).
- 3) 本田 整, 平野克己, 末松博行, 竹本和弘 (T. Honda, K. Hirano, H. Suematu and K. Takemoto): 材料と環境 [Zairyo-to-Kankyo (Corros. Eng.)], 48, 27-33 (1999).

(Manuscript received March 26, 2002 ;
in final form July 10, 2002)