

火力発電所におけるバルブメンテナンス

大塚 弘雅*

1. 火力発電所の概要

水力、汽力、内燃力（ガスタービン、ディーゼル）、原子力など多くの発電方式があるが、このうち火力発電と呼ばれるのは汽力、内燃力などで、近年ではこれらを複合した発電方式もある。

このように様々な形態がある火力発電所ではあるが、今回はその代表的な例として、汽力発電所について主に説明することとしたい。

一般的な汽力発電のしくみは図1に示すように、重油や原油、LNGの他、石炭などを燃料としてボイラで発生させた高温、高圧の蒸気を使用して蒸気タービンを回転し、蒸気タービンに直結された発電機により電気を発生するものである。

1-1 燃料系統

重油や原油、LNGは、船によって輸送されるものと隣接する石油会社等からパイプラインによって受け入れるものがあり、一部を除き一旦タンクに貯蔵され、必要に応じて加熱してボイラへ送り、バーナで噴霧状にして燃焼させる。

石炭についてもほぼ同様の系統で、一般的には、揚炭設備により海上より陸揚げし、石炭サイロに貯蔵後、ベルトコンベアで微粉炭機に送り、細かく粉砕してバーナで燃焼させる。

1-2 ボイラ系統

火力発電所にあるボイラの種類は、ドラム型と貫流型に2分される。

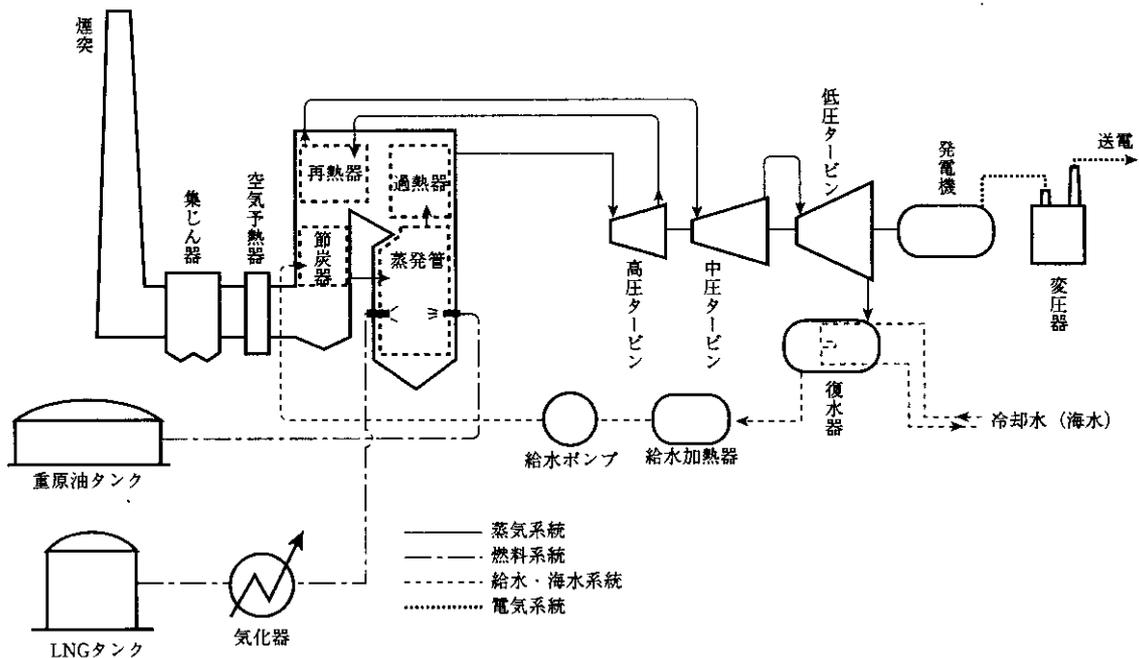


図1 火力発電所の概要

* 関西電力株

ドラム型は、バーナ、火炉、蒸発管、ドラム、過熱器、再熱器等によって構成されており、貫流型はドラムが無く蒸発管と過熱器が直結した構成となる。

水および蒸気の系統は、給水ポンプによってボイラへ送られてきた水が、節炭器で加熱され、蒸発管で蒸気となり、過熱器でさらに過熱されてタービンへ送り出される。

蒸発過程において、ドラム型は蒸発管で加熱された蒸気と水の混合体がドラムに集まり、ドラム内で水と蒸気に分離されて、蒸気は過熱器に至り、水は蒸発管へ再循環する。また、貫流型は、ボイラに送り込まれた水が蒸発管を通る間に全て蒸気となって過熱器に至る。

1-3 タービン系統

ボイラの発生蒸気は、タービン入口にある主塞止弁をとおり、调速装置と連動した蒸気加減弁により、タービンへの流入量が制御される。

タービンへ入った蒸気は高圧、中圧、低圧各所で仕事をを行い、復水器で海水により冷却され、再び水に戻り、ボイラ給水として使用される。

この他に、熱効率向上目的の給水加熱器や、水の純度を高めて水質による障害を防ぐための給水処理装置など、図1には示していない多種多様の設備が

あり、各設備間には系統の隔離や圧力または流量を調整するためのバルブが多数設置されている。

2. 火力発電所で使われる主なバルブ

前述のとおり、火力発電所に使われるバルブと言っても多岐に渡るが、形式上から分類すると、一般弁として仕切弁、玉形弁、ニードル弁、Y形弁、アングル弁、逆止弁、バタフライ弁、ボール弁、ダイヤフラム弁、コック弁などがあり、特殊弁として安全弁、減圧弁、スチームトラップなどがある。なお、図2から図11にその代表的な構造を示す。

呼び径としては、15mm以下の計器用弁から2,000mmを越える海水冷却水系統弁まで、使用温度はLNG系統で使用される-164℃から、高温蒸気系統で使用される約600℃まで、使用圧力は真空から約34MPaまでと非常に広範囲に及ぶものである。

また近年では省力化の観点から、発電プラントの起動停止に開閉しなければならない弁は、殆どが電動化などによって遠隔操作が出来るようになっている。

3. 事業用火力発電所を取り巻く状況

1日の負荷は生活および産業活動などに伴って絶えず変動しているが、その負荷調整は各電源の適性

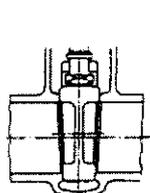


図2 仕切弁



図3 玉形弁

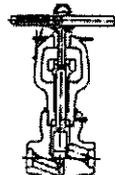


図4 ニードル弁

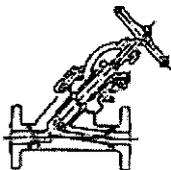


図5 Y形弁

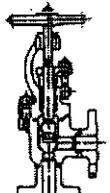


図6 アングル弁

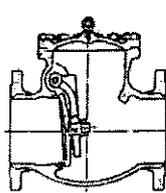


図7 逆止弁 (スイング式)

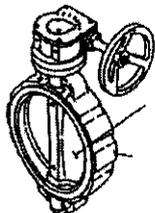


図8 バタフライ弁

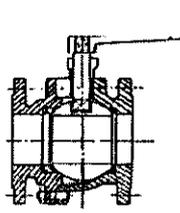


図9 ボール弁

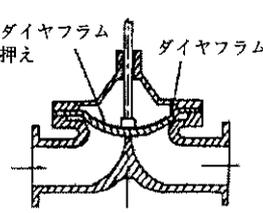


図10 ダイヤフラム弁

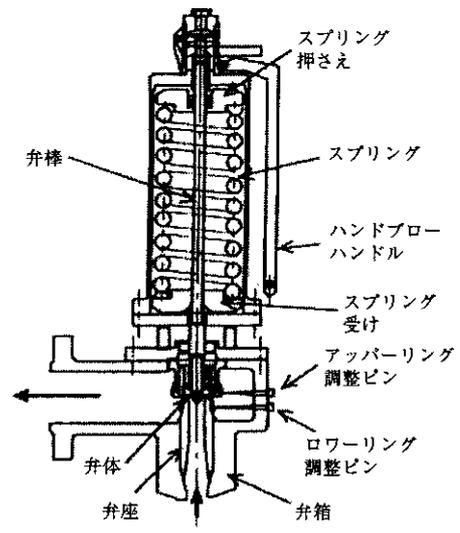


図11 安全弁 (パネ式)

から、原子力および一般水力はベース負荷、火力はピークおよびミドル負荷、揚水などはピーク負荷を分担している。図12は、その状況を模式的に表したものである。

つまり、火力発電所は、昼間に運転し、夜間や週末は停止するDSS (Daily Start up and Shut down)、WSS (Weekly Start up and Shut down) 運用を実施しているものが多いのが実態である。

関西電力の例で見ると、H13年度末の状況では、設備構成比率は火力が52%を占めるが、発電電力量としては図13に示すとおり原子力が53%を占める。

このことから、火力発電所の運転時間が少なくなってきたことが、理解頂けると思う。

また、図14は年間の負荷分担として電源別に模式的に表したものであるが、火力発電所の中でもピーク負荷を分担する発電所と、ミドル負荷を分担する発電所の運転時間に歴然とした違いがあることがわかる。

発電所の運用優先順位は、送電系統構成上の特別な条件が無ければ、経済性から決められる。重油や原油を燃料とする火力発電所は、その優先順位が低く、電力需要が低迷する昨今では、ピーク火力として夏場を除いては長期休転状態にあり、LNGや石炭を燃料とする火力発電所はピークまたはミドル火力として、DSSやWSSを頻繁に行っている。

4. バルブメンテナンスの状況

電力の自由化については益々拡大される方向で議論が進められており、電力業界においては、従来に増してメンテナンスコストの削減に取り組んでいるところである。そのような状況の中で、最近メンテナンスコストの削減のために取り入れられた新しい考え方について説明する。

4-1 従来のメンテナンス

高度成長期においては、需給逼迫と高稼働により、全てに高品質が求められたことから、図15に示すような標準点検周期を定めて、全火力発電所一律的に点検を行い、供給力確保に万全を期することが一般的であった。

4-2 最近のメンテナンス

4-2-1 RBM手法の導入

従来の全火力発電所の一様な点検では、発電所の信頼性は高いが、同時にメンテナンスコストも高い

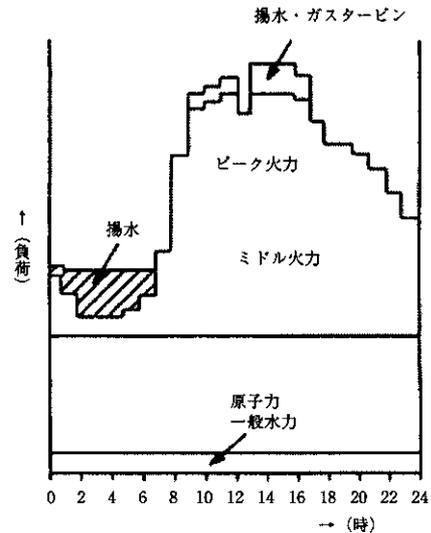


図12 負荷曲線と供給力構成

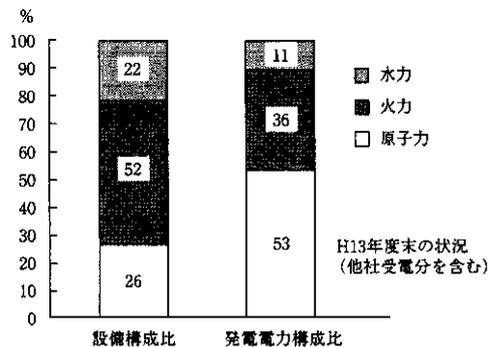


図13 設備と発電電力量構成比

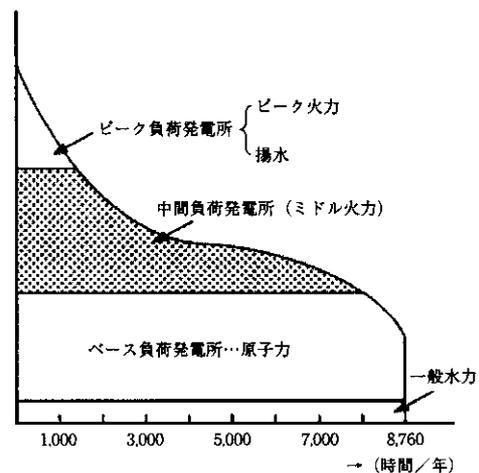


図14 負荷持続曲線と供給力

ことになる。したがって、QCバランスをより重要視した保全計画によって、メンテナンスコストを削減

大分類	中分類	小分類	分解点検周期	備考
蒸気タービン設備	蒸気加減弁他		2年	
	高圧弁	高使用頻度弁	2年	
		その他	2年	設備数の1/6程度
海水系統設備	大口径弁		2年	海水管内からの目視点検
	その他		2年	設備数の1/2程度
温水浄水設備(※1)	安全弁、リリーフ弁		4年	設備数の1/3程度
	制御弁		2年	設備数の1/4程度
	その他		2年	設備数の1/6程度
汽管水管設備(※2)	給水制御弁他		2年	
	高圧給水加熱器出入口弁		4年	設備数の1/2程度
	主要ドレン弁他	高使用頻度弁	2年	
		その他	2年	設備数の1/8程度
	抽気弁		2年	設備数の1/4程度
	安全弁、リリーフ弁		8年	設備数の1/2程度
その他設備			2年	設備数の1/2~1/8程度

(※1) 温水浄水設備：給水加熱器、脱気器、給水処理装置等
 (※2) 汽管水管設備：蒸気配管、給水配管等

図15 従来の弁標準点検周期の例

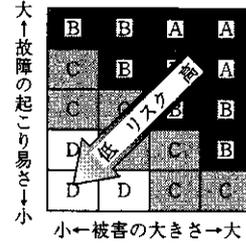


図17 リスクマトリックス

するために、RBM（リスクベースメンテナンス）手法等の新しい考え方を導入する火力発電所が多くなってきている。

4-2-2 RBM手法の概要

RBM手法とは、システム（製造ライン全体）の信頼性確保とコスト低減の両立を目指す手法で、システムを構成する機器の持つリスクを評価し、その大きさに応じて機器の保全計画を立案する手法である。

JISにおいてリスクとは、「事態の確からしさ（または発生確率）とその結果の組合せ」と定義されているが、これを火力発電所に当てはめた場合、「発電所内における機器個々の故障の起こり易さ」と「故障が起きた場合の被害（発電品質等への影響）の大きさ」の積によって表されることになる。

<p>①「被害の大きさ」の指標</p> <ul style="list-style-type: none"> ●安全性 災害発生、環境への影響 ●品質 発電品質への影響 ●コスト 機器補修費用 ●復旧期間 機器停止期間 	<p>②「故障の起こり易さ」の指標</p> <ul style="list-style-type: none"> ●故障履歴 不具合実績 ●故障対策の実施状況 事故対策の水平展開有無 ●劣化傾向 定期点検結果、劣化度合 ●運用計画 今後の稼働予想
---	---

図16 RBM手法の各指標

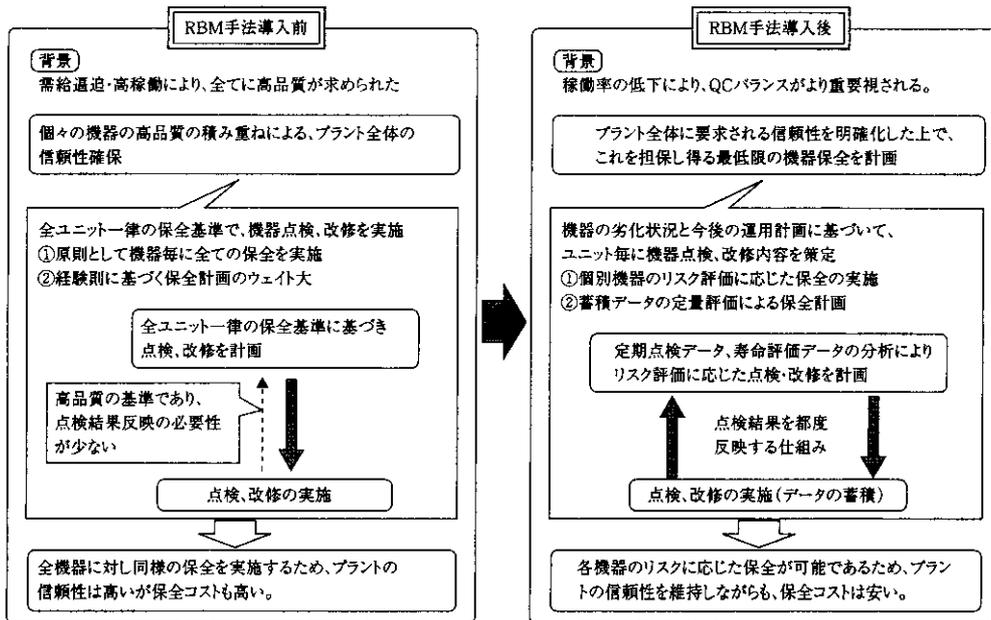


図18 RBM手法導入による保全の変革

火力発電所におけるバルブメンテナンス

機器NO	口径	型式	定期点検結果概要 () 内は対応内容				
			n回	n-1回	n-2回	n-3回	n-4回
主蒸気管ドレン弁 (左)	2B	AN	●弁座、弁体シート面浸食 (弁座摺合せ、弁体切削加工) ●弁箱内面ケーシング挿入部全周クラック (切削加工、溶接後添加工)	●弁箱内面クラック (欠陥部削除) ●弁座シート面ヘアークラック (弁座新製取替) ●弁体シート面浸食 (弁体切削加工)	●弁体、弁座シート面浸食 (摺合せ)	●弁体、弁座シート面噛み傷 (摺合せ)	●弁体、弁座シート面浸食 (弁座摺合せ、弁体切削加工)
同 駆動装置		電動	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査
主蒸気管ドレン弁 (右)	2B	AN	—	●弁座シート面ヘアークラック (弁座新製取替) ●弁体シート面浸食 (弁体切削加工)	●弁体、弁座シート面浸食 (摺合せ)	●弁体、弁座シート面噛み傷 (摺合せ)	●弁体、弁座シート面浸食 (弁座摺合せ、弁体切削加工)
同 駆動装置		電動	—	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査
A-高温再熱蒸気管ドレン弁	2B	N	—	●異常なし	—	●弁体、弁座シート面噛み傷 (摺合せ)	●異常なし
同 駆動装置		電動	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)	—	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査
B-高温再熱蒸気管ドレン弁	2B	N	●異常なし	●異常なし	—	●異常なし	●異常なし
同 駆動装置		電動	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット経年摩耗調査	—	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査
A-ボイラ給水ポンプ出口弁	12B	WG	●弁棒ネジ部荒れ (弁棒新製取替)	●弁体入口側シート面噛み傷 (摺合せ)	●弁座シート面浸食 (摺合せ)	●異常なし	—
同 駆動装置		電動	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)
B-ボイラ給水ポンプ出口弁	12B	WG	—	●異常なし	●異常なし	●弁体、弁座入口側シート噛み傷 (摺合せ)	—
同 駆動装置		電動	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット摩耗 (取替)
A-ボイラ給水ポンプ出口圧力制御弁	8B	単座	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●ケーシングガイド内壁摺動傷 (研磨)
B-ボイラ給水ポンプ出口圧力制御弁	8B	単座	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●内弁、弁座シート面浸食 (摺合せ) ●内弁ステム、ケーシング内壁摺動傷 (研磨)	●ケーシングガイド内壁摺動傷 (研磨)
A-ボイラ給水ポンプミニマムフロー弁	4B	単座	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (内弁肉盛加工、弁座機械加工、プラグ部肉盛補修)	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (内弁肉盛加工、弁座機械加工) ●シールリテーナ、ソフトシート浸食 (新品取替)	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (内弁・弁座取替)	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (肉盛加工)	●内弁、弁座シート面浸食 (新品取替)
B-ボイラ給水ポンプミニマムフロー弁	4B	単座	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (内弁肉盛加工、弁座機械加工、プラグ部肉盛補修)	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (内弁肉盛加工、弁座機械加工) ●シールリテーナ、ソフトシート浸食 (新品取替)	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (内弁・弁座取替)	●内弁、弁座シート面、内弁キャピトル部浸食 (肉盛加工)	●内弁、弁座シート面浸食 (新品取替)
A-高圧給水加熱器入口弁	12B	WG	—	●異常なし	●弁座シート面浸食 (摺合せ)	●異常なし	—
同 駆動装置		電動	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	—	—
B-高圧給水加熱器入口弁	12B	WG	●異常なし	●異常なし	—	●弁体、弁座シート面噛み傷 (摺合せ)	—
同 駆動装置		電動	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット経年摩耗調査	●ステムナット摩耗 (取替)	—
A-高圧給水加熱器出口弁	12B	WG	—	●弁体、弁座シート面噛み傷 (摺合せ)	●弁座、弁体入口側噛み傷 (摺合せ)	●異常なし	—
同 駆動装置		電動	—	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット経年摩耗調査
B-高圧給水加熱器出口弁	12B	WG	●弁棒ネジ部損傷 (弁棒取替)	●異常なし	—	●異常なし	—
同 駆動装置		電動	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット摩耗 (取替)	—	●ステムナット摩耗 (取替)	●ステムナット摩耗 (取替)

図19 定期点検結果とその対応

例えば図16に示す評価指標と、図17に示すリスクマトリックスを組み合わせて使用することで、個々の機器の状態や置かれた環境、発電所全体に対する位置付けを総合的に判断して、個々の機器の持つリスクの大きさをA～Dの4段階に分類することができる。

このリスクの大きさに応じて保全を計画する、つまり、リスクの高い機器は点検の強化などによってリスクを低減し、リスクの低い機器は保全内容を削減することによって、信頼性とコストの双方を勘案した最適な保全計画の立案が出来ることになるものである。

RBM手法の導入による保全の変革の概要は次の図18に示すとおり、各機器の持つリスクに応じた保全、すなわち、プラント全体に要求される品質から各機器毎に保全コストを勘案した最適な保全を行うことで、RBM手法導入前の個別機器の信頼性に重点をおいた保全から脱却し、火力発電所全体としての信頼性を維持しながらもメンテナンスコストを削減することができるようになる。

4-2-3 RBMによるバルブ評価

火力発電所のバルブは前述のとおり、様々な環境や運用状態があり、その中には、高温、高圧下で使用され、かつ、ユニットの起動停止の度に開閉動作を繰り返すようなバルブもあるが、そのようなバルブは、急激な温度変化による弁座の割れや、高差圧による弁体の浸食が経年的に発生することがある。そのため従来の一律の保全基準では、全てのバルブが、比較的短周期の定期保全を実施していた。

しかしながら、バルブ毎にリスクを評価すると、従来通りの点検をすべきもの、従来の点検周期を延長できるもの、状態監視保全に移行できるものが明らかとなり、その結果としてバルブメンテナンスコストの低減が可能となってきている。

5. 火力発電所のバルブ不具合例

図19は、ある火力発電所の定期点検で発見された不具合とその対応の実例である。

同種のバルブであっても、環境や運用などの些細な違いによって、不具合の起こっている頻度や程度などが異なっている。言い換えれば、各バルブ毎のきめ細かなリスク評価によるメンテナンスの計画が、信頼性を維持しながら、メンテナンスコストを削減

することに有効であることが、ご理解頂けると思う。

6. 今後の課題

図19をご覧頂くとバルブ本体の不具合以外に、バルブに付随する駆動装置のステムナット摩耗による不具合対応が意外に多いことが分かる。

これは前述したとおり、起動停止時の省力化による電動遠隔操作バルブの不具合であるが、ステムナットの摩耗は、電動弁の構造および機能上、避けることが出来ないのが現状である。

ステムナットが摩耗すると、手動による開閉もできず、DSSやWSSを頻繁に行う昨今では、この問題が大きく、摩耗量把握のためだけに点検を行うこともある。ステムナットを直接点検するためには、大きな駆動装置全体を取り外す必要があり、コストも非常に高いものとなる。

駆動装置を取り外さずに簡易診断する方法として、ステムナット摩耗によるネジ部のガタツキの大きさ度合いを、電動弁にセンサーを取り付けて検出する方法や、手動操作でバルブを動かし、ステムが動くまでのハンドル空転角を手で読み取る方法などもあるが、いずれの診断方法も、設備の設置や診断によるコストも割高で、診断の精度が低いこと、診断に時間がかかることなどの問題点もあり、全面的な採用には至っていないのが現状である。今後、火力発電所の信頼性を維持しながら、更なるコスト削減を図るために、より一層安価で精度が高い簡易診断技術の開発が望まれている。

7. おわりに

最近のメンテナンスの一例としてRBM手法を紹介させて頂いた。RBM手法の開発や導入には、一般的に多大な労力を要すると言われるが、関西電力では、比較的簡単に導入できる独自の手法を開発し、社内の全火力発電所に導入中である。

下記のホームページにも、一部紹介しているので、ご覧頂ければ幸いです。

(原稿受付 2003年1月9日)

関西電力株式会社

火力エンジニアリングセンター

URL <http://www.kepco.co.jp/fpec/top/>