原子力発電設備における素形材加工の動向(2)

三 島 良 績*

4. 開発中の発電炉

開発中のものとしてはわが国独自の重水炉としてすでに原型炉ふげんが前述のように稼動し、世界ではじめてプルトニウム燃料での発電送電をしているATRがあり、1983年より実証炉の建設計画に入り、電源開発が担当して青森県下北半島に建設することになっている。また、目下実験炉常陽が順調に稼動し、次の原型炉もんじゅの建設が1983年からはじめられた高速増殖炉も今後の実用を目指す新型炉である。

この内、ATRのふげんは1979年3月より稼動している圧力管型の重水炉で、燃料集合体の外形は円柱形で、1体ずつが重水を満したタンクを貫通する圧力管に入り、この圧力管の中は沸騰軽水が冷却材として流れる。

ふげんの燃料集合体は燃料棒28本を3層同心円状に配列する上記のような円筒形クラスターで、内層4本、中間層8本、外層16本の配列となっており、このため燃料体の上下部にタイプレートを設置している。燃料棒は二酸化ウランペレット、ジルカロイ-2被覆で、軽水炉より若干太い外はBWR燃料と大差がなく、成形加工法も大体同じである。

タイプレートはSCS13の精密鑄造(ロストワックス)品で、1個当りの質量は上部タイプレート2.3kg下部のそれは3.3kgである。使用個数は炉心を224本の燃料集合体で構成しているので各224個である。年間需要量は毎年の取換量を $\frac{1}{4}$ 炉心分とすれば、上、下各々約60個ずつとなる。一方圧力管は原則として炉の寿命中取換えないが、Zr-2.5%Nb合金の押出材である。

その他ATRに使用している鑄造品について動力炉・核燃料開発事業団の新型転換炉開発本部提供のデータによるものを表8⁽²⁾に、鍛鋼品を表9に示す。

* 東京大学名誉教授

Trends in Fabrication Methods of Components and Parts for Nuclear Power Reactor (2); MISHIMA Yoshitsugu (Prof. Emeritus of The Univ. of Tokyo)

Keywords: nuclear power plant, structural materials, fabrication procedure, reactor components, fuel, reactor core, light water reactor

1984年2月1日受理

ATRは上記のように重水減速沸騰軽水冷却圧力管型原子炉であるが、その発電システムは炉心を除いてはBWRとほぼ同じであり、ポンプ、弁等についても従来の火力及び先行軽水炉で実績のあるものが使用されていて、重水炉であることによる特殊なものはない。

次に建設される実証炉についても基本的にはふげんと変わらないが、1983年現在の予定を動力炉・核燃料開発事業団より知らせられたので表10に示した。またこれ以外にも、大型弁類・ポンプには鑄造品を、エルボ・ティーズ・ノズル類・小型弁には鍛造品を使用する予定とのことである。また、圧力管については今度は国産の計画もある。

高速増殖炉の方は最近のウランの需給のゆるみのために経済性の点で実用は以前の計画にくらべ大幅に延びる見込みとなり、わが国の1982年発表の長期計画では実用炉の稼動は西暦2010年見当となっている。しかし、各国の計画の大幅遅延のため西暦1990年頃原型炉もんじゅを稼動させ、ついで実証炉をつくり、さらに発電炉にすすむという日本の計画は確実性の点でフランスと並ぶものと評価され、米欧より開発についての協力の申込みが続いている。

実験炉常陽は1977年運転を開始した時の熱出力50MWから、予定どおり100MWへの出力上昇に成功し、目下第2期の照射施設への転進の改装中である。発電設備をはじめつける原型炉もんじゅは1983年安全審査を終えて、建設に入っている。ナトリウム冷却で、燃料は混合酸化物(Mox)という軽水炉とは違う形であるが、振動充填などの案もあったが実用されるものはベレットで、そのつくり方はプルトニウム対策のための遠隔操作の点を除くと軽水炉と余り大きく違わない。被覆管は316ステンレス鋼のごく薄肉の細管で、燃料体の中の燃料棒配置は六角形配列である。燃料体のスペーサや外を包む六角筒のラッパー管も316ステンレス鋼板でつくる。

常陽に用いられた鑄造品を動力炉・核燃料開発事業団

提供の資料により表 11 に示した⁽²⁾。また同じく鍛造品を表 12 に示す。

原型炉もんじゅについては省略するが、表 13 に常陽、もんじゅの要目を原子力白書により比較して示しておく。

5. 今 後 の 動 向

開発中の発電炉については今後の動向もある程度示したし、Calder Hall 型は今後わが国に新設されることはないので、ここでは主に軽水炉に限って考えることになる。

軽水炉は 1970 年商業運転開始以来の経験に基づいてわが国の実情によく合ったように改良し、また、多数建設に備えて標準化しようとする目的でのいわゆる改良標準化計画はすでに第 3 期に入り、順調に進んでいる。また、BWR、PWR とも日本のメーカの案を中心に、導入元のアメリカの GE 社、W 社と協同で開発する改良型の ABWR、APWR 計画がかたまりつつある。表 14 には一例として ABWR になるときに新に採用される予定の鍛鋼品 (1983 年 4 月現在) を朝日製作所の提供により示した。

また、軽水炉燃料については将来の負荷追従運転によくついてゆけるための出力急昇向きの改良燃料 (ジルコニウム内張被覆管や中空ペレット) や、燃焼度伸長をめざして濃縮度を若干上げ、ガドリニアの添加量を若干増

やす方向の改良があるが、燃料ペレットや被覆管の製造工程上には本質的の違いはない。

6. む す び

原子力発電所に使われる主要設備品について、その素形材加工のしかたに注目して、現状をのべ、動向にふれた。

原子力発電所は一般の工業施設と比べて格段に高い安全性が要求されるために、その構成部材にはなるべく塑性加工した展伸材や鍛工品を用い、鋳造品は安全性からの要求度の若干低い部分にのみ用いるとの設計側の考えがとられている。鋼材では特に溶接部は照射効果に対しては母材より不利なことがあるので圧力境界など重要部分では極力溶接線を減らす努力が行なわれていて、このためにはわが国に大型鋼塊の製造技術のあることは有利に働いている。

このような設計側の考え方は説得力のあるデータを材料側が示さない限り、この考え方が今後も続くであろう。このことを考えて、原子力発電において使われる素形材加工法の動向を予測することは重要である。

おわりに、この稿のためには使用現状についてそれぞれの炉の使用者、炉製造者に資料提供をお願いしたところ、これだけ揃った資料を得ることが出来たことに対し、ご協力に心から感謝するとともに、この稿が有効に利用されることを望んでやまない。

(完)

表 8 動力炉・核燃料開発事業団で開発した新型転換炉 (ATR) 原型炉ふげんに使用されている鋳造品⁽²⁾。

系 統 名	品 名	材 質	大きさの種類	個数	
1. 原子炉冷却設備	再循環ポンプ	ケーシング SCS 13	0.71 m ³ /s	4	<p>再循環ポンプ概略図 製品質量約 5300 kg</p>
	補助ポンプ	ケーシング SCS 13	0.0083, 0.0086, 0.012 m ³ /s	4	
	弁	弁箱 { SCS 13, SCPH 2 ASME SA351 CF 8, AST MA351 CF8M, SCPL1	{ 1B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B, 10B, 16B	約70	
2. 原子炉補助系設備	主蒸気隔離弁	SCPL 1	16B	4	<p>主蒸気隔離弁 製品質量約 1500 kg</p>
	ポンプ	ケーシング SCS 13, SCPL 1	0.0006, 0.0015, 0.0017, 0.0025, 0.0075, 0.1833, 0.3472 m ³ /s	18	
	ブロワ	ケーシング FC 25	0.0083 m ³ /s	1	
3. 原子炉格納施設スプレー装置	弁	弁箱 { SCPH 2, SCS 13, SC 49, FC 25 SCPL 1, ASTM A296 CF8M	1½B, 2B, 3B, 4B, 6B, 8B, 10B, 12B, 14B, 16B, 18B, 24B	約210	
	ポンプ	ケーシング インベラ SC 49 SCS 13	0.0416 m ³ /s	2	
	弁	弁箱 SCPH 2	4B, 6B	26	

系 統 名	品 名	材 質	大きさの種類	個数	
4. 工学的安全 防護設備	ボ ン プ	ケーシング {SCPH 61 SCS 1 SC 49	0.0008, 0.0033, 0.0150, 0.0250, 0.0694, 0.1083, 0.0667 m ³ /s	13	
	弁	弁 箱 {SCS 13, SCPH 2 SCPL 1	2B, 2½B, 3B, 4B, 5B, 6B, 8B, 10B, 12B	約160	
5. タービン 設備	ボ ン プ	ケーシング FC 25, SC 46, SC 49 SCS 1	0.0067, 0.0167, 0.0591, 0.117, 0.1556, 0.1600, 0.2667 m ³ /s	15	
	弁	弁 箱 SCPL 1, SCPH 2, SCPH 21, SCPH 61 FC 20, SCS 13 FCD 45, BC 3 銅入鋳鋼品 533 種 S-4A (東芝社内規格)	1B, 2B, 2½B, 3B, 4B, 5B, 6B, 8B, 10B, 12B, 14B, 16B, 18B	約220	
	タービンケー シング (高 圧 側)	銅入鋳鋼品 533 種 S-4A (東芝社内規格)		1

表 9 ふげん発電所で使用している鍛鋼品リスト.

系 統	品 名	材 料	個数	備 考	系 統	品 名	材 料	個数	備 考
	蒸気ドラム ノズル	原子力発電用鍛鋼品 1 種 A (ASME SA-350 Gr.LF2)	314/2 基	1B~14B マンホール座を含む		重水冷却器管板	JIS G3201 SF45	2	φ1600
	同 上	JIS G4303 SUS 27B (ASME SA-182 F304)	310	1B~14B		ヘリウム循環系 エゼクタ胴体	ASME SA-182 F304	1	φ199.9
	サーフェンド マニホール	JIS G4303 SUS 27B (ASME SA-182 F304)	12	φ355.6 ~φ762		ヘリウム循環 系, 弁	ASTM A-182 F316	1	φ48.6
	シール水フィル タ鏡板	ASME SA-182 F304	2	φ211.6		ヘリウム浄化系 冷却器管板	ASME SA-182 F304	1	φ216.3
	RCP シール注 排水系, 弁	ASTM A-182 F316	12	1B, 2B		同上 圧縮器 アフタークーラ 管板	ASME SA-182 F304	1	φ165.2
	下部ヘッダ レデューサ	JIS G4303 SUS 27B (ASME SA-182 F304)	4	φ406.4 ~φ608.6		炭酸ガス系, 弁	ASTM A-182 F316	1	φ48.6
	同 上	JIS G4303 SUS 27B (ASME SA-182 F304)	248/2 基	¾B~8B		格納容器スプレ イ系ベネマルチ プルフルードヘ ッド	JIS G3211 SFV1	2	φ318.5
	ノズル	ASME SA-182 F316	1	φ530		復水貯蔵系ベネ 端板	JIS G3214 SUS F304	1	φ216.3
	再生熱交換器 管板	ASME SA-182 F316	10	1B~2B		ノズル部	JIS G3214 SUS F304	1	φ60.5
	炉浄化系, 弁	ASTM A-182 F316	2	φ609.6		純水系ベネ端板	JIS G3214 SUS F304	1	φ216.3
	主蒸気ヘッダ	JIS G3205 SF50	32	6B		ノズル部	JIS G3214 SUS F304	1	φ60.5
	流出制限器	JIS G3211 SFV1	2	12B		格納容器圧力逃 し装置ベネ端板	JIS G3214 SUS F304	1	φ318.5
	急速注水系 蓄圧器ノズル	原子力発電用鍛鋼品 1 種 A	4	1½B, 2B		格納容器圧力測 定系ベネ端板	JIS G3214 SUS F304	2	φ318.5
	隔離冷却系, 弁	JIS G3201 SF45	2	2B		格納容器スプレ イ系, 弁	JIS G3201 SF45	4	2B
	余熱除去系, 弁	JIS G3201 SF45	1	φ1250		蒸気タービン 主蒸気入口短管 高, 低圧車軸	低合金鋼鍛造品 558 種 S-2 3.5Ni, 1.75Cr, 0.1V 鋼 鍛鋼品 159 S-10A	1 式	
	第4給水加熱器 水室, 管板	JIS G-3201 SF50	1	φ1245		前部心棒	ニッケルクローム鋼鍛鋼 品 103 種 S-2	1 式	
	第5給水加熱器 水室, 管板	ASTM A-105 GR2 (SF45)	4	2B		羽 根	12Cr 鋼鍛鋼品 128 種 S-13A	1 式	
	復水脱塩装置, 弁	JIS G3201 SF45	1	φ788		噴 口	12CrAl 鍛造品 448 種 S-2	1 式	
	同上ベントフィ ルタふた	JIS G3201 SF45	3	2½B~ 5B		低炭素クローム鋼鍛造品 164 種 S-5	低合金鋼鍛造品 560 種 S-2	1 式	
	給水系ドレン・ ベント系, 弁	JIS G3201 SF45	1	φ1550		衛帯蒸気復水器			
	原子炉補機冷却 熱交換器 管板								

表 10 新型転換炉実用炉での鑄造品、鍛造品使用箇所。

鍛 造 品					(内)「ふげん」の相当品名称					鑄 造 品				
系統	品 名		材 料	数 量	備考	系統	品 名		材 料	数 量	備考			
冷却材再循環系	蒸気ドラムノズル		SFVV	356個	20 A～500 A 1180m×φ1m 15.2m×φ0.86m	冷循環系	再循環ポンプ		SCS	4	約2300 kW 700 A			
	ウォータドラム (下部ヘッダ)		SUSF	2基		ウオータドラム逆止弁	〃	8						
	流量制限器		SUSF	8個		原子炉補助系	重水循環ポンプ		SCS	3	約300 kW 約60 kW 約30 kW			
	マニホールド		SUSF	4個			重水浄化用ポンプ		〃	2				
主気蒸系	流量制限器		SUSF	24個	350 A	ヘリウム循環ブロワ		〃	3					
	重水冷却器管板		SUSF	2個	原子炉補助系	補機冷ポンプ		SCS	6	約800 kW 約400 kW 約1000 kW 約400 kW				
重水浄化系熱交管板		〃	2個	補機冷海水ポンプ		〃	8							
重水浄化系冷却器管板		〃	2個	海水ストレーナ		〃	3							
ヘリウム循環系冷却器管板		〃	2個			工 安 系	高圧注水ポンプ		SCS	2				
補冷却機	補機冷熱交管板		SF	2個		低圧注水ポンプ		〃	2					
	高圧車軸		3.2Ni-Cr 鋼	1個	タービン蒸気系	隔離給水ポンプ		〃	2					
低圧車軸		3Ni-1.5Cr 鋼	1個	蒸気放出プール冷却ポンプ		〃	2							
前部心棒		Ni-Cr 鋼	1個	主気蒸系		主蒸気隔離弁		SCP	8	銅入り 鑄鋼				
羽 根			1式			タービンバイパス弁			2					
給水系	第1～第5 給水加熱器管板		SF	10		タービン	高圧タービンケーシング		銅入り 炭素鑄鋼	1				
						蒸気加減弁		〃	4					
						主蒸気止弁		〃	4					
					復水系	低圧復水ポンプ		SCS						
					給水	高圧復水ポンプ		〃						
						原子炉給水ポンプ		SF						

表 11 高速実験炉常陽に使用される鑄造品。

系 統 名	機 器 名	品 名	材 質	1 個の質量 または寸法	個 数
原子炉容器 燃料集合体、反射体 照射用炉心、反射体 炉心構造物 回転ブラグ 燃料出入機 燃料交換機 トランスフェローター	(該当する物ナン)	—	—	—	—
	外側反射体A	反射体要素A	SCS 13	0.7 kg	5300
	外側反射体B	反射体要素B	"	3.1 kg	1500
	炉心構造物	ボットガイド	SCS 13	10 kg	30
	大回転ブラグ	上板	SC 42	31000 kg	1
	"	軸受固定台	SC 42	15800 kg	1
	小回転ブラグ	上板	SC 42	11800 kg	1
	"	軸受固定台	SC 42	5500 kg	1
	(該当する物ナン)	—	—	—	—
	ドアバルブ	ケーシング側板	SCS 13	250 kg	1
1次主冷却系	1次主循環ポンプ	インペラ	SCS 13	ϕ 780	2
	"	ベアリングハウジング	"	ϕ 1200 × ϕ 350	2
	"	ディフューザ	"	ϕ 1000 × ϕ 780	2
	"	シールハウジング	"	ϕ 200	2
	玉形弁(ペローズシール)	ボディ	"	1 B	2
1次補助冷却系	玉形弁(ペローズシール)	ボディ	SCS 13	4 B	1
	"	"	"	3 B	1
	"	"	"	1 B	2

[illegible]

表 13 高速増殖炉実験炉及び原型炉の主要項目.

主 要 項 目		実 験 炉	原 型 炉
熱 特 性	熱電出力 冷却材出温度 被覆材燃焼最高温度	75 MWt (目標 100 MWt) —— 643 K (370°C) 741 K (468°C) 903 K (630°C) 42000 GWD/kg	714 MWt 約 300 MWe 670 K (397°C) 802 K (529°C) 948 K (675°C) 80000 GWD/kg
核 特 性	炉心形状 高直容 燃料 PuO ₂ /(PuO ₂ +UO ₂) U 中の U ²³⁵ の濃縮度 炉心燃料初期装荷重 Pu Pu+U 増殖比	600 mm 796 mm 0.273 m ³ 17.7 質量% 23% 146 kg 825 kg ~1.06	930 mm 1790 mm 2.340 m ³ 16.1/20.8 (平衡) 質量% (fissile) 0.3% 1315 kg 5920 kg ~1.2 (目標)
炉心構成要素	炉心燃料集合体 ベレット直徑 燃料集合体当り燃料要素数 燃料集合体全長 半径方向ブランケット集合体 制御棒 (安全棒/調整棒)	73 体 5.4 mm 91 本 2970 mm 185 体 6 本 (4/2)	198 体 5.4 mm 169 本 4200 mm 172 体 19 本
冷 却 系	ナトリウム冷却回路数 補助冷却系回路数 2 次系空冷却器 蒸気発生器 蒸気条件 温圧 度力	2 回路 2 回路 8 個 ——	3 回路 3 回路 —— ヘルカルコイル貫流 分離型 756 K (483°C) 12.446 MPa

Wt : Watt thermal, We : Watt electricity, GWD : Giga watt day

表 14 ABWR になると新たに使用する予定の鍛鋼品一覧.

	鍛 造 品 名 称	材 質	1 個当りの質量	使用員数	備 考
1	湿分分離再熱器 管板	検 討 中	〃	2	SFHV 23A
2	湿分分離再熱器 マンホールカバー	検 討 中	〃	—	SFHV 23A
3	インターナルポンプ シャフト	検 討 中	〃	—	13Cr-5Ni 極低 C-0.35Mo
4	インターナルポンプ モーターケース	SFVV 1	〃	—	
5	電動型微動制御棒 駆動機構フランジ	SUSF 304L	〃	205	
6	同 スプールピース	SUSF 304L	〃	205	
7	同 シールハウジング	SUSF 304L	〃	205	