

フラマンビル3号機（EPR）におけるRV材料 （上蓋、下鏡等）の鋼材組成に関する問題

- 経緯（問題の概要）
- 日本の状況

第17回 技術情報検討会

2015年11月16日

原子力規制企画課、安全技術管理管（システム安全担当） 付

経緯

- 2007年4月ASNはEdFに対してフラマンビルに4500MWtクラスのPWRを建設することを許可した。(Decree No.2007-534, 2007)
- AREVAは上蓋・下鏡を新しい方法で製造することとした。2008年以降、ASNとAREVA間で設計が妥当であることの評価方法を協議。合意を得ず、AREVAは製造開始。
- 2010年4月AREVAは上蓋及び下鏡が規格を満足することを示す評価案を提示した。
- 2011年ASNは評価の他に実試験を要求した。
- 2012年、AREVA社はフラマンビル3号機（クルーゾー・フォーシ製）と同じ方法で製造された米国向けEPR原子炉容器上蓋を試験することを提案した。ASN合意した。
- 2014年末AREVAは、上蓋頂部にシャルピー吸収エネルギーが規格要求を満たさない部分があること、その原因として上蓋頂部付近に偏析が存在することを報告した。
- 2015年2月AREVAはフラマンビル3号機の上蓋が偏析が原因で脆性破壊する恐れのないことを、英国向けEPR原子炉容器を試験して示す計画書をASNに提出した。
- 2015年3月ASNはIRSNにAREVAの計画を評価することを依頼。同4月3日IRSNはAREVAの計画に同意するも、破壊靱性試験が十分出来るかについて懸念を示した。
- 2015年9月16日にASNはIRSN連名で評価書を作成した。
- 9月30日に原子力耐圧機器常設専門家グループ（GP ESPN）が開催された。
- GP ESPNはAREVAの提案を分析し、承認するための条件をASNに提示した。
JSWの製法であれば偏析が製品に含まれることがなく、問題が無いとされている。
- 近々ASNは見解を公表する予定である。

EPRの特徴

- ❖ 電源喪失時の自動的原子炉停止
- ❖ 大型化
- ❖ 高い燃料利用率（ウラン消費量を17%削減）、MOX使用可
- ❖ 長い原子炉寿命（60年）、長い運転サイクル（24ヶ月）、短い燃料交換期間
- ❖ 溶融燃料をコアキャッチャーに捕獲
- ❖ ディーゼル発電機（4+2基）を高気密防水室に設置
- ❖ 強固な構造（2m厚コンクリート、A380の衝突にも耐える）

表 フラマンビル及びEPRの諸元

原子炉	炉形	熱出力	電気出力	建設開始	営業運転開始
フラマンビル - 1	P-4型 4ループPWR	3817MWt	1382MWe	1979年12月	1986年12月
フラマンビル - 2	P-4型 4ループPWR	3817MWt	1382MWe	1980年5月	1987年3月
フラマンビル - 3	EPR 4ループPWR	4250MWt	1600MWe	2007年12月	2017年の予定
オルキオト -3	EPR 4ループPWR	4250MWt	1600MWe	2005年8月	2018年の予定
ヒンクリーポイント(2基)	EPR 4ループPWR	4250MWt	1600MWe	未	— (2023年)
台山原発 (2基)	EPR 4ループPWR	—	1750MWe	2009年11月 2010年 4月	(2016年) (2017年)



図 EPR設置発電所

(参考: ABWR (KK6/7) 1356MWe、 ESBWR 1594MWe)

EPR上蓋・下鏡の形状と製造方法

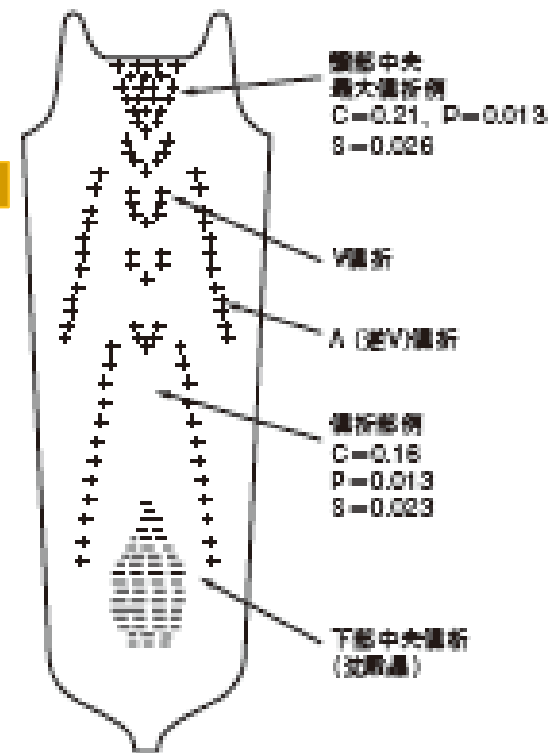
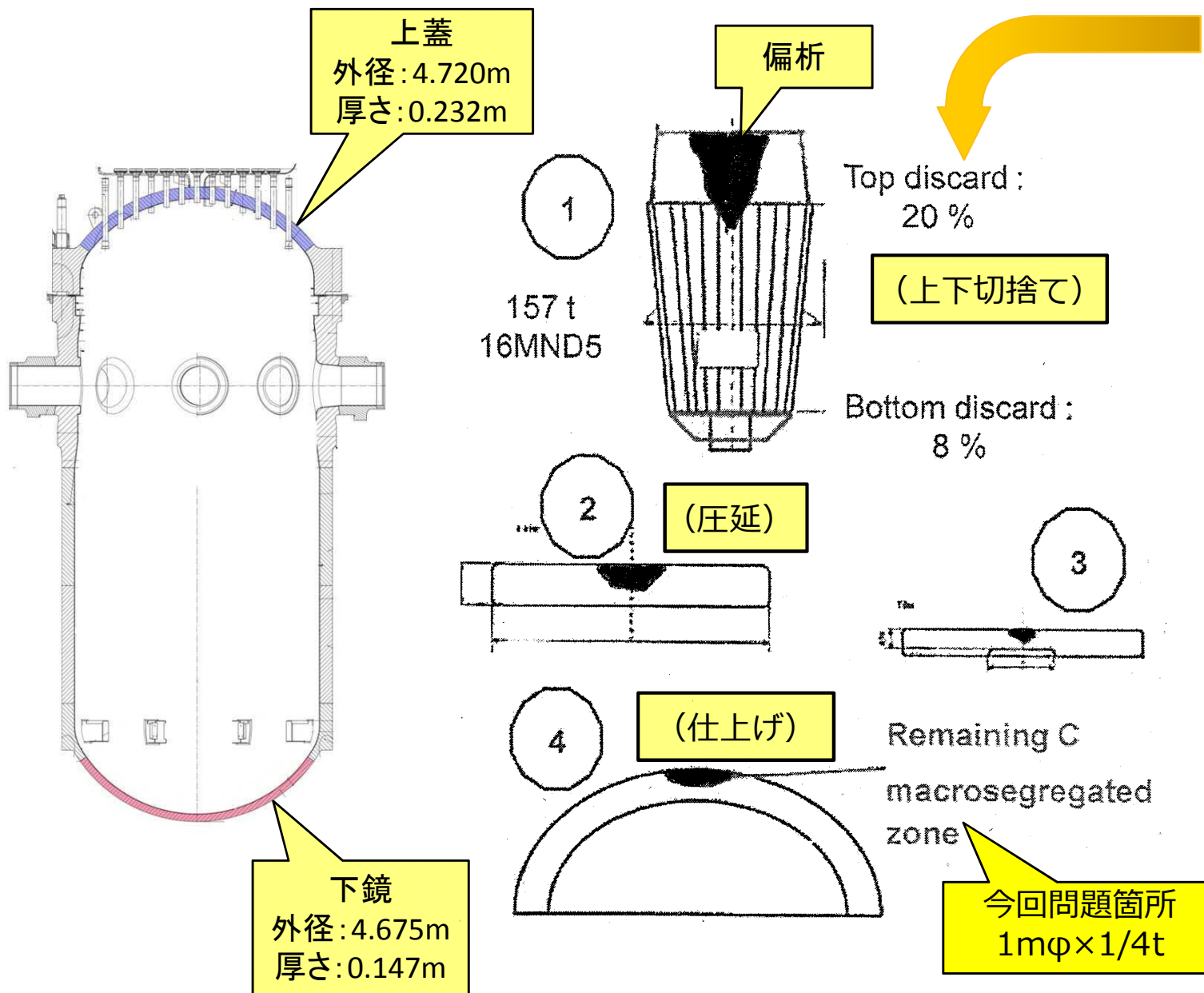
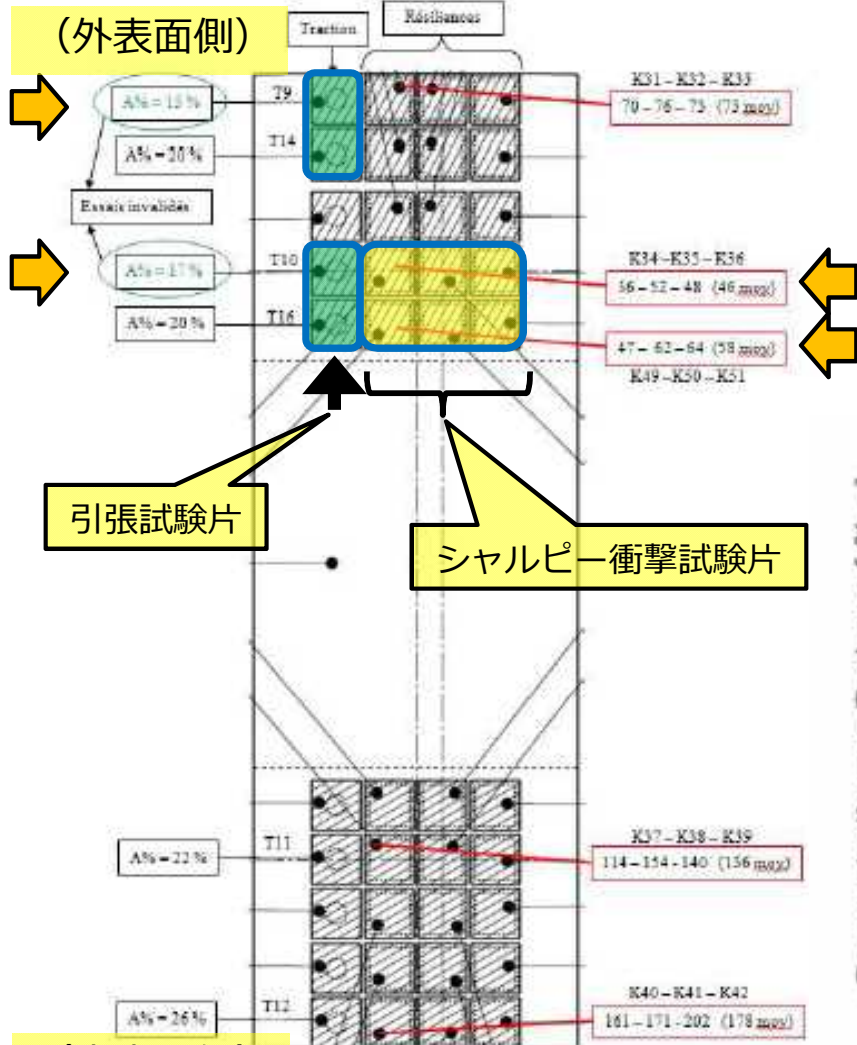
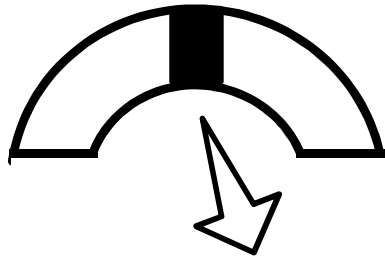


図 インゴット内の偏析模式図

米国向けEPR上蓋試験結果



引張試験結果：

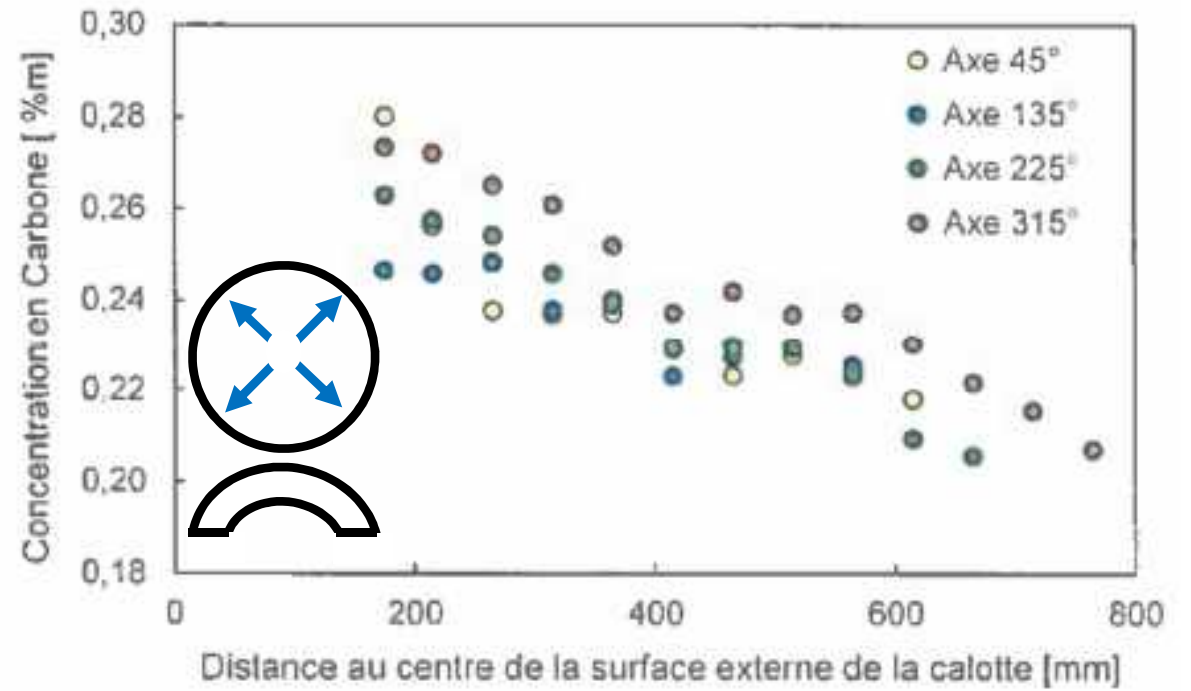
- T9、T10 破断位置無効
- T14、T16 合格

シャルピー試験結果：吸収エネルギーが低すぎた

- (K34、K35、K36) (K49、K50、K51)

要求：0°Cで60J以上 結果：平均52J、最低：36J

炭素量分布：
偏析部 (C量 > 0.20%) が中心から 1 m の範囲に存在



上蓋中央部コアサンプルからの引張試験片とシャルピー試験片の採取位置

外表面の炭素量分布

AREVA社提案

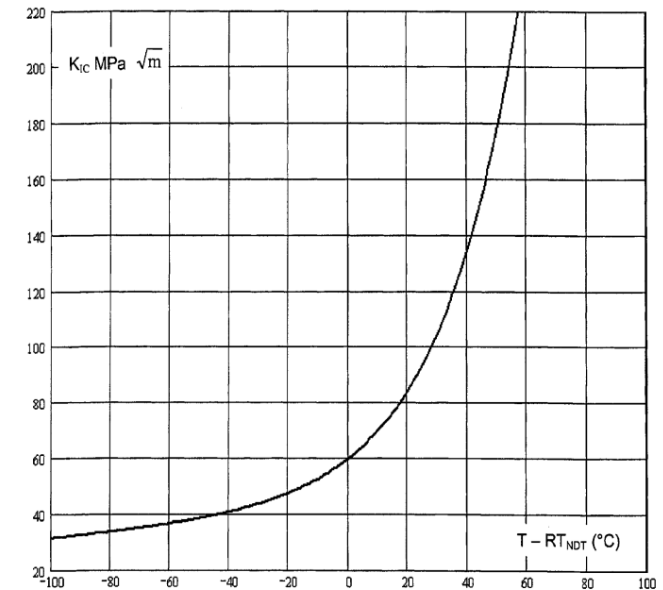
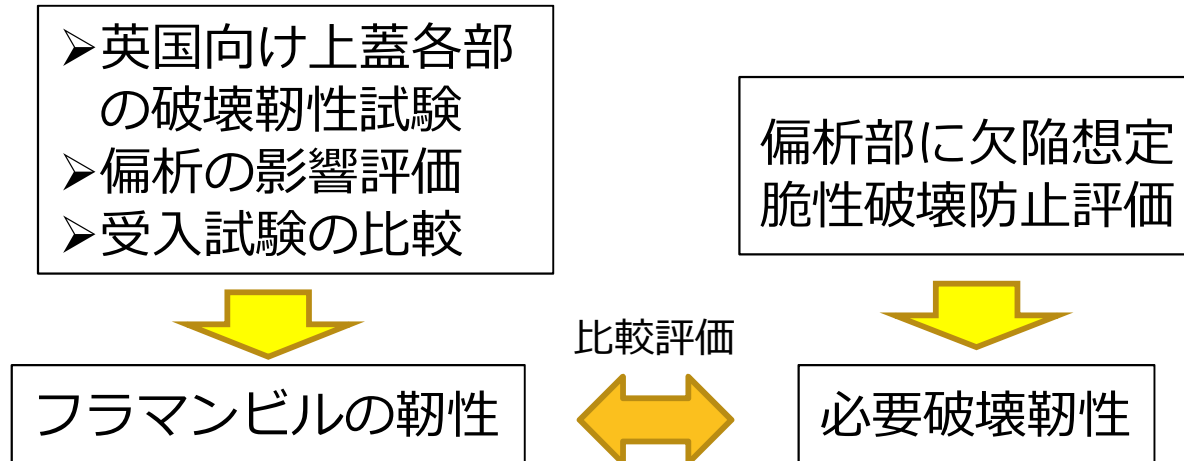


Figure Z G 6110

Reference toughness curve for low-alloy steels covered by specifications M.2110 and M.2120

GP ESPNのコメント

1. 表面試験を実施し、き裂の無いことを示すこと。
2. 英国上蓋の試験は下記考慮すること
 - 偏析部位の範囲決定と、マクロ試験、ミクロ試験
 - 試験片破面の詳細観察
 - 信頼性のある試験機関での化学成分分析
3. 破壊靱性値がRCC-M ZG6110曲線の値を満たすこと
4. 上記要求を満たさない時、靱性を満たす温度を求め、運転を制約しないことを示すこと

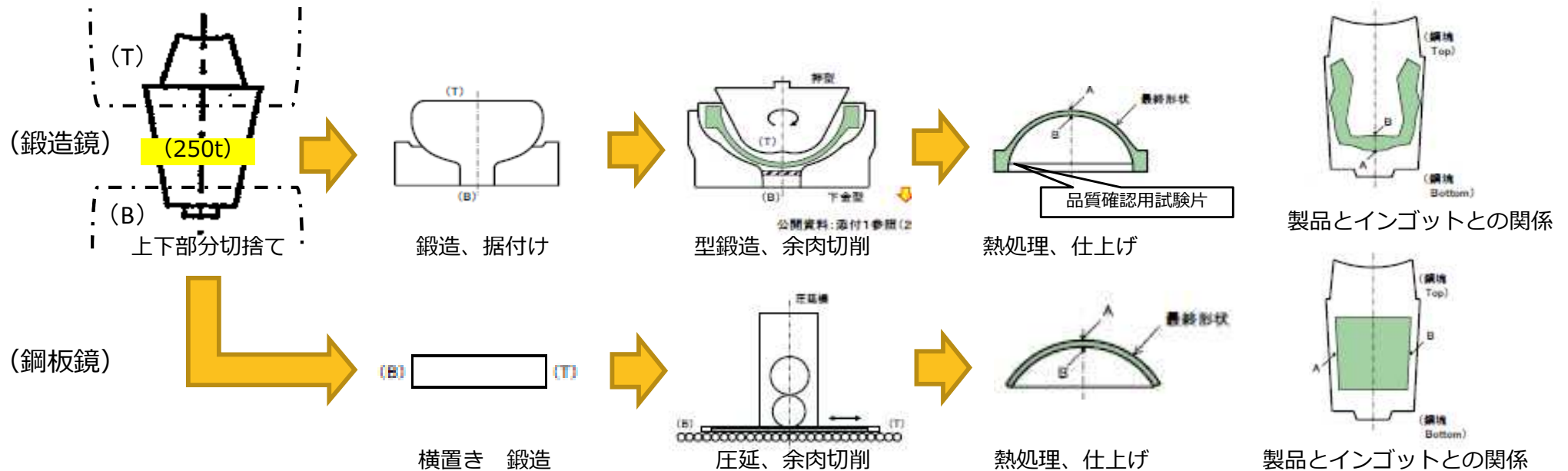
日本の状況

1. PWR (21プラント) の実績

上蓋：フランジ一体型（5プラントは鋼板溶接型）

下鏡：鋼板溶接型

2. 国内の上蓋及び下鏡の製造方法の例は下図の通り。



3. 関連規格

日本機械学会
日本機械学会

材料規格では原子力用材料は溶鋼時に真空溶解したものに限定。
設計・建設規格で破壊靱性を規定。

我が国の規格要求値

- JIS G3204 圧力容器用調質型合金鋼鍛鋼品のSFVQ1A要求値

- 化学成分（溶鋼分析、重量%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
0.25以下	0.40以下	1.20~ 1.50	0.030以下	0.030以下	0.40~ 1.00	0.25以下	0.45~ 0.60	0.05以下

- 原子炉圧力容器用部分とする場合は、PおよびSは0.025%以下とする。
- 製品分析の許容変動値は、Cは±0.02～±0.05（製品の大きさによる）を許容。
- シャルピー要求：3個の平均は40J以上、個別は34J以上。

- 日本機械学会 設計・建設規格

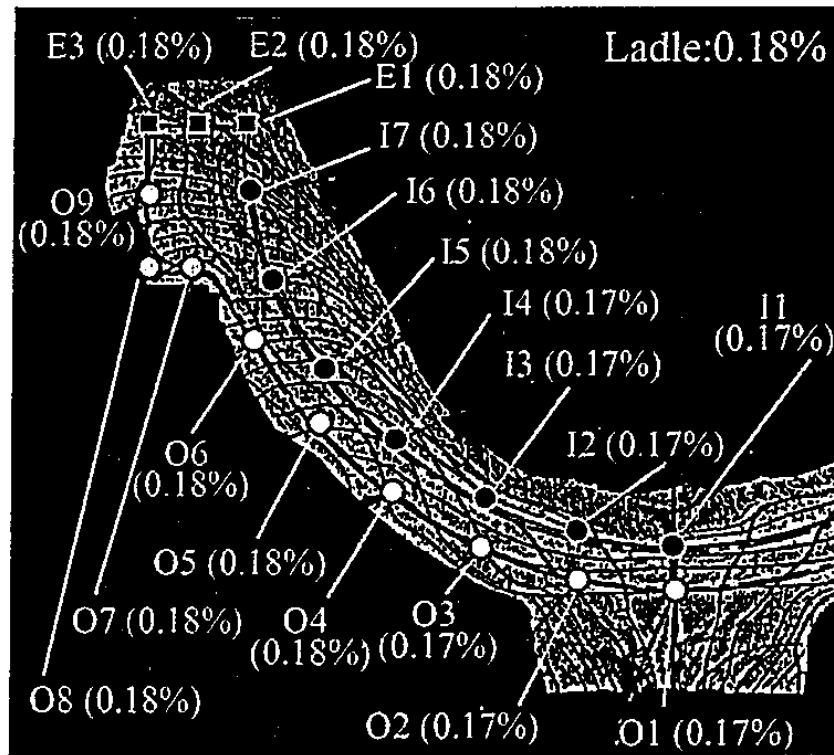
- クラス1容器の材料は、PVB-2333に従って関連温度（ RT_{NDT}^{*1} ）を測定し、判定基準を満たすこと。
- RT_{NDT} を測定するためには、シャルピー衝撃試験吸収エネルギーが68J以上、横膨出量が0.9mm以上であること、さらに、落重試験で T_{NDT} を求めることが必要。

(*1 : ($T_{NDT}+33^{\circ}C$) でシャルピー衝撃特性が68J及び09mmを満たす時、 T_{NDT} を RT_{NDT} とする。)

我が国の製品分析例

我が国では均質で高品位の製品が得られる製造方法が採用されている。

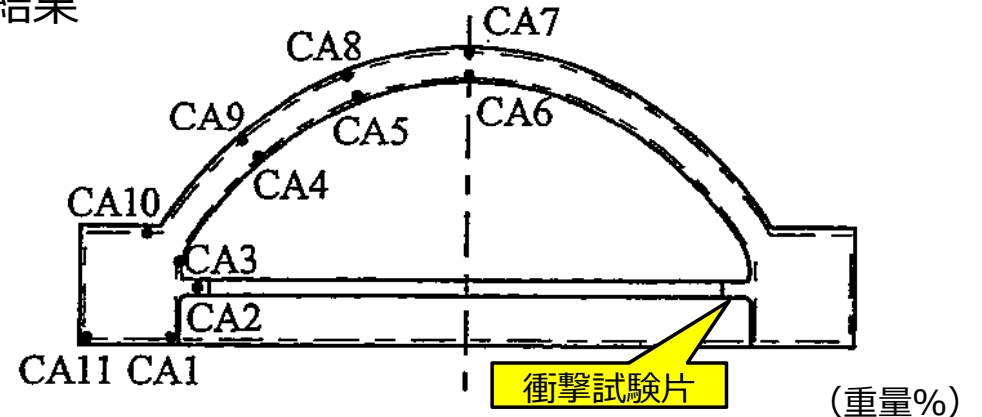
解析結果



Estimated C Content

Tomoharu Sasaki, et al
 Manufacturing and properties of closure head forging
 integrated with flange for PWR reactor pressure Vessel
 29th MPA-Seminar, Stuttgart, October 9 and 10, 2003

分析結果



CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10	CA11
0.18	0.19	0.19	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18

(溶鋼分析結果 0.18%)

Table 3 Results of Charpy Impact Test

Coupon	Direction	USE	vTrs	vTr50	vTr35
		J	°C	°C	°C
A	Long.	284	-41	-62	-70
	Trans.	244	-27	-53	-62
B	Long.	283	-38	-59	-66
	Trans.	242	-32	-54	-63

Table 2 Results of Impact Test

		Direction	RT _{NDT}
			°C
Requirements			-18
Coupon A	Longitudinal		-46
Coupon B	Longitudinal		-46

USE: シャルピー上部棚吸収エネルギー
 V Tr50: 吸収エネルギーが50ft-lbを示す温度

国内PWR原子炉容器上蓋・下鏡の製造実績

電力会社	プラント	上蓋			下鏡	
		上蓋取替	製造法	製造者	製造法	製造者
北海道電力	泊-1	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	泊-2	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	泊-3	なし	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
関西電力	美浜-3	済み	鋼板	JSW	鋼板	JSW
	高浜-1	済み	鋼板	JSW	鋼板	JSW
	高浜-2	済み	フランジ一体型	日鑄鍛	鋼板	JSW
	高浜-3	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	高浜-4	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	大飯-1	済み	フランジ一体型	日鑄鍛	鋼板	JSW
	大飯-2	済み	フランジ一体型	日鑄鍛	鋼板	JSW
	大飯-3	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	大飯-4	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
四国電力	伊方-1	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	伊方-2	済み	フランジ一体型	日鑄鍛	鋼板	JSW
	伊方-3	なし	鋼板	JSW	鋼板	JSW
九州電力	玄海-2	済み	フランジ一体型	日鑄鍛	鋼板	JSW
	玄海-3	なし	鋼板	JSW+日鑄鍛	鋼板	JSW
	玄海-4	なし	鋼板	JSW+日鑄鍛	鋼板	JSW
	川内-1	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
	川内-2	済み	フランジ一体型	JSW	鋼板	JSW
日本原子力発電	敦賀-2	済み	フランジ一体型	日鑄鍛	鋼板	JSW

国内PWRプラントの仕様材料と炭素含有量

「高経年化対策に関する報告書」によると炭素含有量の例は下記のとおり。
国内実績、製法等を考慮すると国内原子炉容器に問題は無いと考えられる。

項目	伊方1号	大飯1号
上蓋材料	低合金鋼 (SFVQ1A)	低合金鋼 (SFVQ1A)
下鏡材料	低合金鋼 (SA-533)	低合金鋼 (SA-533)
母材炭素含有量 (%)	0.18	0.19
溶接金属炭素含有量 (%)	0.061	0.10

まとめ

1. フラマンビル3号等の偏析は、インゴットの上部あるいは下部の偏析帯を十分に取り除かなかったために発生した。
2. 我が国の上蓋及び下鏡は、EPRよりも大型のインゴットを用い、溶解時の偏析のシミュレーション解析を踏まえ、実規模の材料試験を行い確認された実績のある方法で製造されており、品質に問題がないと考えられる。
3. フラマンビル3号機下鏡について詳細報告がない。異常がないか確認する必要があると考えられる。
4. なお、現在我が国の原子炉容器の信頼性に問題はないが、原子炉容器は最重要機器であり、ASN及びAREVAの情報に継続して注意を払う必要がある。