

水化学部会第3回定例研究会

溶存水素濃度最適化等の
PWR被ばく低減技術の動向について

平成20年3月

三菱重工業株式会社

目次

1. はじめに
2. 亜鉛注入
3. pH管理
4. 濃縮¹⁰B
5. 高Li運転
6. 溶存水素濃度管理

1. はじめに

水質管理面からの被ばく低減対策として、NUPECでの研究や国内PWR電力共同研究にてZn注入について検討を実施してきており、国内での亜鉛注入が開始され、実機適用への移行段階にある。

他の対策としては、溶存水素濃度の最適化があり、最近PWR電力共同研究が開始された状況にある。

また、今後の長サイクル運転を考慮した水質面からの対策が必要な状況にある。

本資料は、上述の被ばく低減(水質管理面)の最新動向についてまとめたものである。

2. 亜鉛注入

2.1 亜鉛注入による被ばく低減効果

2.1-1 亜鉛注入による被ばく低減効果

○被ばく低減メカニズム

亜鉛がCoよりも酸化皮膜にとりこまれやすいことを利用し、Coを亜鉛と置き換えることによって、被ばく低減を達成

○海外プラントでの亜鉛注入実績

米国および独国で実機プラントへの亜鉛注入が実施され、被ばく低減効果確認

○国内プラント評価

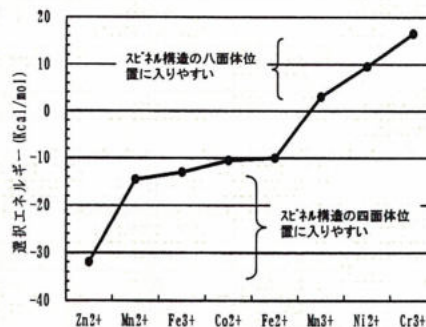
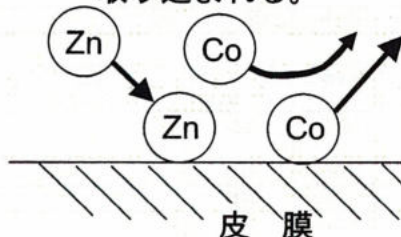
電共研及びNUPECプロジェクトの試験から、被ばく低減効果を
確認・実証

2.1-2 被ばく低減メカニズム

○亜鉛がCoよりも酸化皮膜へ取り込まれやすいことを利用

○酸化皮膜に取り込まれているCoを亜鉛と置き換えることにより被ばく低減を達成

ZnがCoより優先的に
取り込まれる。



2.1-3 海外プラントでの亜鉛注入状況(1/3)

プラント名	国、メーカー	SG 伝熱管材質	亜鉛注入 の目的	開始時期	注入亜鉛 濃度(ppb)	被ばく 低減効果
Farley 2	米国、WH	MA600→TT690 (5/01にSGR)	PWSCC抑制 →被ばく低減	1994～ (8Cy目)	40→15； 天然 & 劣化	約50%(4Cy) SGR後SG水室；90%超
Farley 1	米国、WH	MA600→TT690 (5/00にSGR)	PWSCC抑制 →被ばく低減	1999～ (5Cy目)	30→15；天然	SGR後SG水室；90%超
Diablo Canyon 1	米国、WH	MA600 (09にSGR予定)	PWSCC抑制	1999～ (5Cy目)	15-31；天然	約50%(4Cy) [SG水室で42%]
Diablo Canyon 2	米国、WH	MA600 (08にSGR予定)	PWSCC抑制	1999～ (5Cy目)	16-21；天然	約30%(2Cy) [SG水室で59%]
Palisades	米国、CE	MA600→MA600 (3/91にSGR)	被ばく低減	1999～ (5Cy目)	-5；劣化	A-SG;約20%(2Cy) B-SG;約40%(2Cy) 3Cy目より上昇傾向
Sequoyah 1	米国、WH	MA600→TT690 (3/03にSGR)	被ばく低減	2002～	-5；劣化	3Cy目運転中
Sequoyah 2	米国、WH	MA600 (12にSGR予定)	被ばく低減	2002～	-5；劣化	2Cy目運転中
Beaver Valley 1	米国、WH	MA600 (06にSGR予定)	被ばく低減	2002～	35；天然	3Cy目運転中
Fort Calhoun	米国、CE	MA600 (06にSGR予定)	被ばく低減	2003～	-5；劣化	2Cy目運転中
Callaway	米国、WH	TT600 (05にSGR予定)	被ばく低減	2003～	5-10；劣化	2Cy目運転中 SG水室で約30%(初回停止)
Vogtle 1	米国、WH	TT600	被ばく低減	2004～	5～10；劣化	1Cy目運転中

2.1-3 海外プラントでの亜鉛注入状況(2/3)

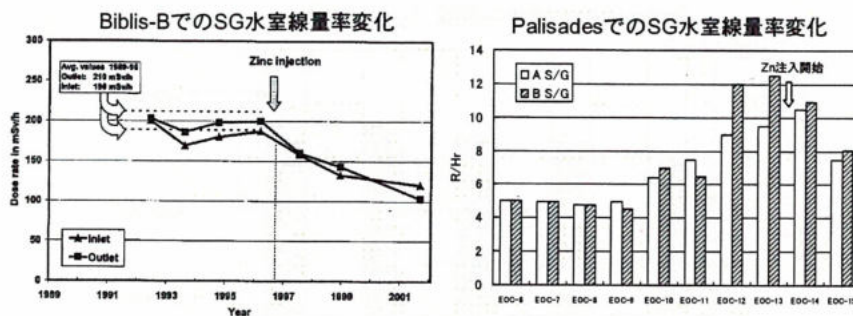
プラント名	国、メーカー	SG 伝熱管材質	亜鉛注入 の目的	開始時期	注入亜鉛 濃度(ppb)	被ばく 低減効果
Obligheim	独国、FANP	MA600→I 800 (8/83にSGR)	被ばく低減	1998～	目標5；劣化	年間約10-15%
Biblis A	独国、FANP	I 800	被ばく低減	1998～	目標5；劣化	不明
Biblis B	独国、FANP	I 800	被ばく低減	1996～	目標5；劣化	SG水室；約40-50%(5年) 年間約10-15%
Angra 1	ブラジル、WH	MA600 (06にSGR予定)	不明	2000～	不明	不明
Angra 2	ブラジル、 FANP	I 800	被ばく低減	2001～	劣化	不明
Unterweser	独国、FANP	I 800	被ばく低減	2003～	目標5；劣化	不明

注入予定プラント

プラント名	国、メーカー	SG 伝熱管材質	亜鉛注入 の目的	開始時期	注入亜鉛 濃度(ppb)	被ばく 低減効果
ANO 1	米国、B&W	SR(応力除去焼鈍)600 (05にSGR予定)	不明	2005～	不明	-
Byron 2	米国、WH	TT600	不明	2005～	不明	-
Vogtle 2	米国、WH	TT600	不明	2005～	不明	-
Bugey 2	仏国、 FANP(仏系)	MA600	不明	2005～	不明	-

2.1-3 海外プラントでの亜鉛注入状況(3/3)

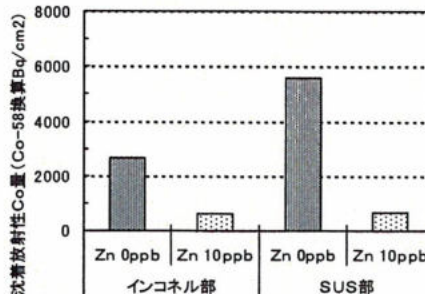
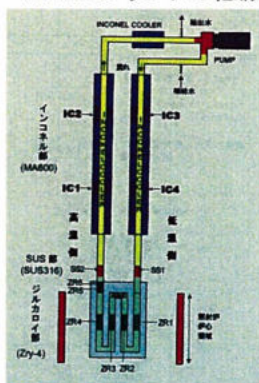
○5ppb程度の亜鉛注入濃度により年間約10~15%程度の被ばく線源低減効果



2.1-4 国内プラント評価 (1/2)

○亜鉛注入による被ばく低減効果

- NUPECプロジェクトで照射試験を実施し被ばく線源低減を実証(下図)
- 国内プラントでの被ばく線源低減効果を評価(実機データによる評価)
TT690プラントの低減効果: 20%以上
MA600プラントの低減効果: 40%

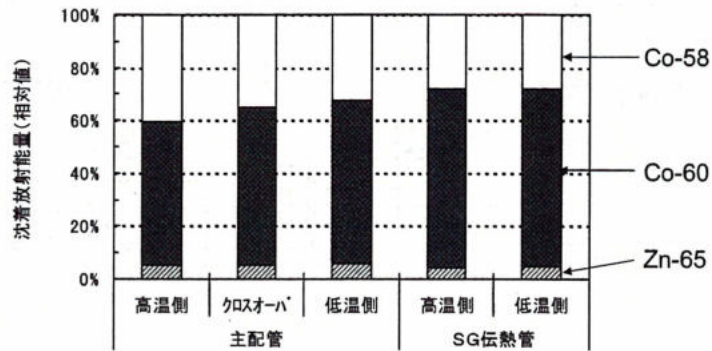


2.1-4 国内プラント評価 (2/2)

○Zn-65による線源上昇の影響

- Zn-65の影響は5%以下(天然亜鉛使用時)

Farley-2の沈着放射能量 (Co-58換算)

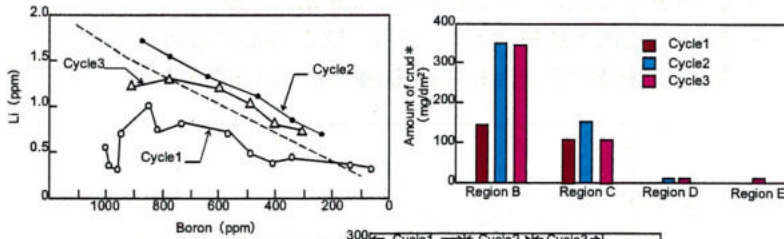


3. pH管理

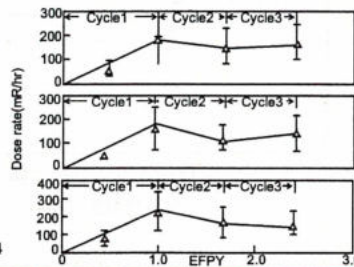
pH管理による被ばく低減効果

3. pH管理

- 高pH管理により燃料のクラッド付着量が低下



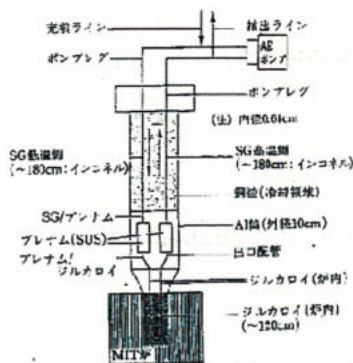
- 線量率も低下
(クロスオーバーレグ)



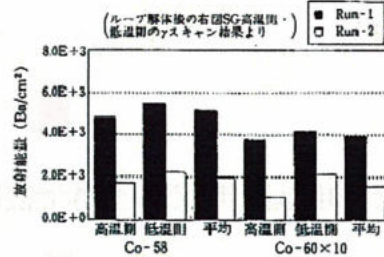
C.A. Bergmann et al., EPRI NP-3463, 1984

3. pH管理

- NUPEC プロジェクトにより pH 7.3 (285°C)の被ばく低減効果を実証.



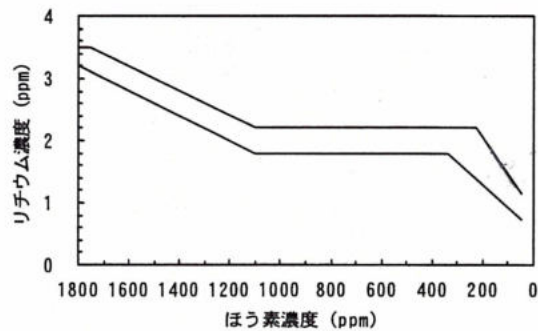
Run-1 : pH7.0、Run-2 : pH7.3



小川 他 火力原子力発電 No.499, Vol.49, 1998

3. pH管理

- 国内プラントにおけるModified pH 管理バンド
 - Li 濃度が高濃度ボロン領域で2.2ppmを超過
 - 被ばく低減上最適なpH (7.3) はEOCのみ可能
 - 更なる最適化手法としての濃縮¹⁰B、高Li運転適用



4. 濃縮¹⁰B

- ケミカルシムとして濃縮¹⁰Bを適用(新設プラント濃縮度90%)

	¹⁰ B	¹¹ B
天然B	18wt%	82wt%
濃縮 B	90wt%	10wt%

H₃BO₃ 使用量が1/5に減少

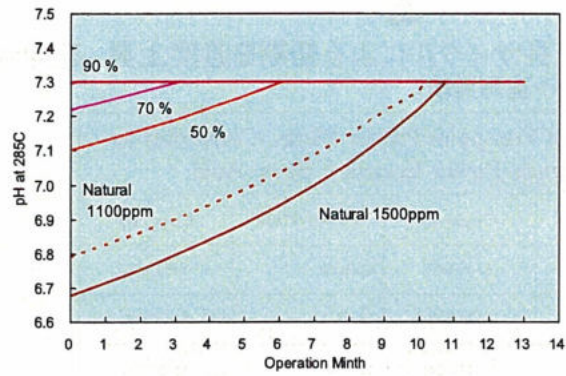


- 濃縮¹⁰Bによりサイクル全体で被ばく低減上最適なpHに維持

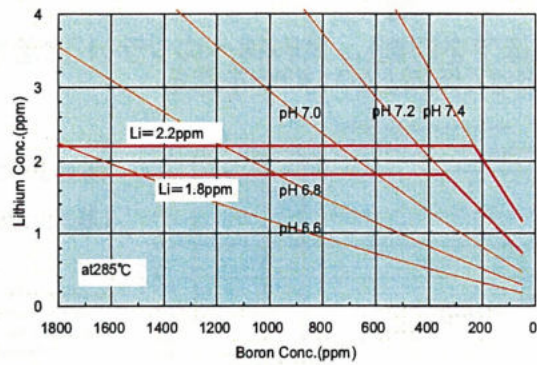


燃料棒表面への腐食生成物沈着抑制による被ばく低減

4. 濃縮¹⁰B



4. 濃縮¹⁰B



4. 濃縮¹⁰B

- ・既設プラントに濃縮¹⁰Bを適用(濃縮度30%)



- ・高燃焼度・長サイクルによる初期B濃度上昇 を抑制 (海外プラント適用実績)

Listing of European Power Plants Converted to Eagle-Picher Enriched Boric Acid			
Power Plant	Capacity	Power Plant	Capacity
Grafenberfeld	1345 MW	Grohnde	1430 MW
Gösgen	1020 MW	Isar 2	1440 MW
Philippsburg 2	1424 MW	Emsland	1363 MW
Brokdorf	1440 MW		

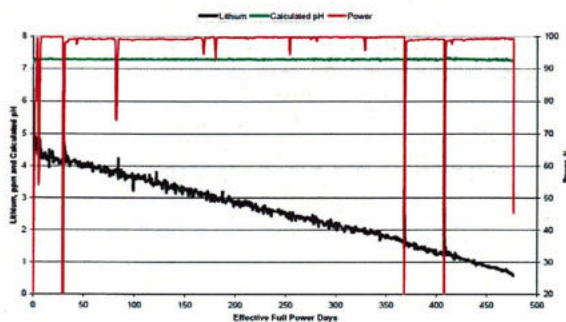
EAGLE PICHER, EP-SSSM-10BHB03 Revision 3

5. 高Li運転

- ・BOCに於けるLi濃度上限値を3.5ppmよりも高めて運転



- ・BOCでのpH低下を抑制し、燃料棒へのクラッド沈着を減少させることによる被ばく低減とAOA抑制を図る

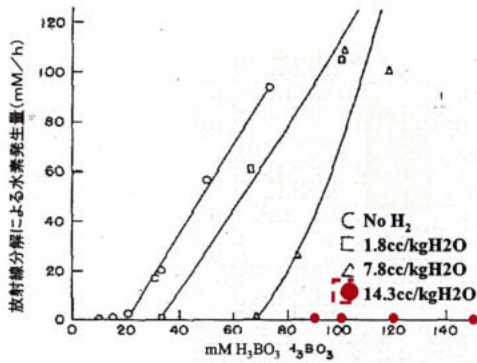


海外プラント適用実績
(最大Li濃度=6ppm)

Summary of First Cycle Data and Results for Elevated-Constant pH Control at Comanche Peak Steam Electric Station, D. Farnsworth and J. Bosma
International Conference Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, 2004

6. 溶存水素濃度管理

- 溶存水素は炉心内の水の放射線分解抑制を目的に添加
- 現状の下限値である、15cc/kgは下記のデータに基づく



Effect of initial dissolved hydrogen on hydrogen production in boric acid solution irradiated in experimental reactor.
From Hart (Geneva Conf. 1955, vol7, p593)

6. 溶存水素濃度管理

- 溶存水素濃度の下限値に対する最近の評価
- 高温状態では、数cc/kgで放射線分解抑制には充分

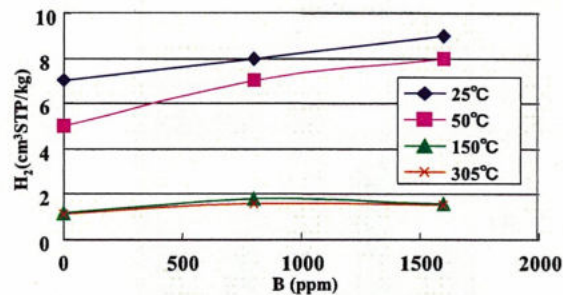
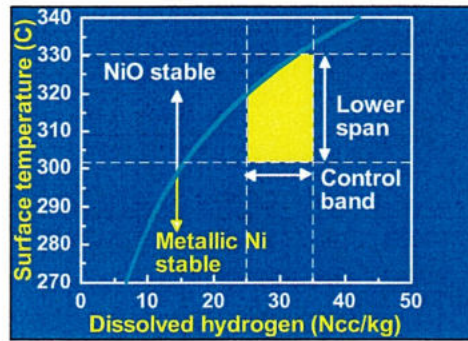


Fig. Calculated critical hydrogen concentrations at four different temperatures as functions of boron concentration

H. Takiguchi et al, Proc. of 8th Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, UK (2000)

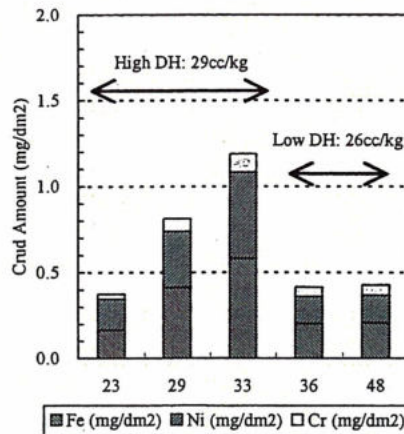
6. 溶存水素濃度管理

- 溶存水素を低濃度側に管理することにより、Niが高溶解度のNiOに置換される
- 燃料表面で中性子照射されるNi量が減少し、 ^{58}Co 生成量が減少



6. 溶存水素濃度管理

- 低DH管理により、燃料表面へのクラッド沈着量を抑制



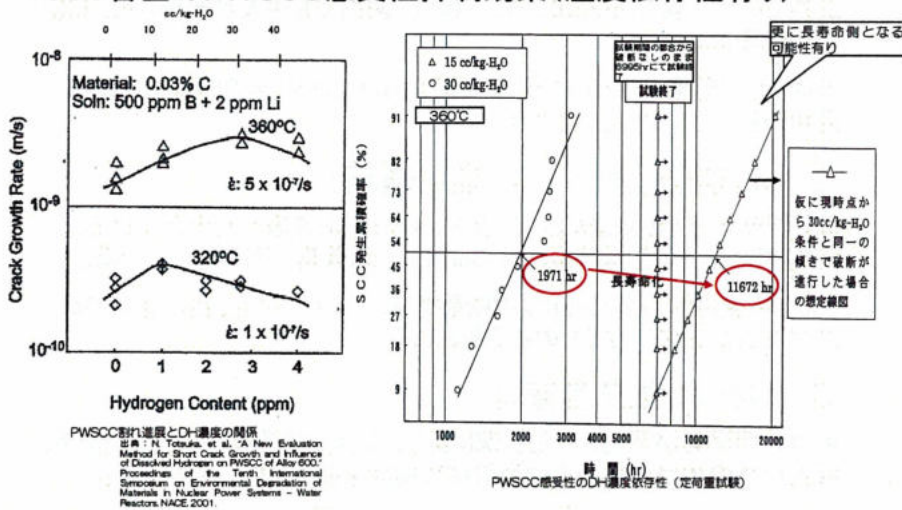
6. 溶存水素濃度管理

・低DH管理適用による被ばく低減効果評価結果



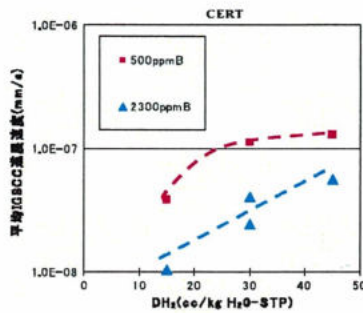
6. 溶存水素濃度管理

・600合金のPWSCC感受性抑制効果(温度依存性有り)

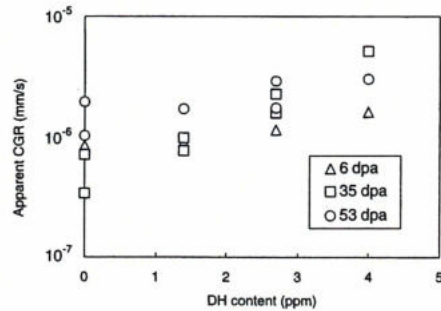


6. 溶存水素濃度管理

・ステンレス鋼のSCCキ裂進展抑制効果



福村ら
2006 I N S S JOURNAL Vol.13, p159



Fukuya et al.
Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY,
Vol.41, No.6, p. 673-681 (2004)

まとめ

1. 亜鉛注入

海外での注入実績が約20プラント程度、国内でも注入が開始され、実機適用段階にある。

被ばく低減効果も殆どのプラントで認められており、今後急速に国内でも適用が拡大していくものと予想される。

2. pH管理(濃縮¹⁰B, 高Li運転)

既設プラントの現状は天然BによるModified pH管理が行われているが、新設プラントでは濃縮¹⁰BによるConstant pH管理が計画されている。

なお、今後の炉心多様化により既設プラントにおいても、高Li運転等の適用検討が必要になるものと予想される。

3. 溶存水素濃度管理

電力共同研究が開始された状況にあり、今後実機適用を目指し、被ばく低減以外の項目の検討も含め着実に検討を進めていく必要がある。