TOSHIBA

軽水炉利用高度化に対応した線量率低減技術の開発

－酸化チタン適用時の放射能付着に対する水質影響－

東芝エネルギーシステムズ株式会社　○柴崎　理、原　宇広、洞山　祐介、青井　洋美
中部電力株式会社　稲垣　博光

日本原子力学会　水化学部会報

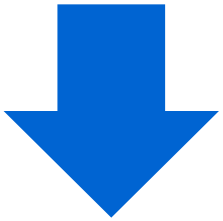
© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

1. 背景

- BWRにおける被ばく線量低減は重要な課題である。一方で、被ばく低減対策やSCC抑制対策として新たな水化学技術（酸化チタン、貴金属、亜鉛注入　等）の導入が求められる。

- 水化学技術はプラントの固有性が強く影響するためプラント毎にモデルで評価したうえで最適な線量率低減技術を提案する必要がある。

- 既存モデルでは再現しきれない事象が増加しているため新たな水化学に対応可能な評価モデルへ改良する必要がある。

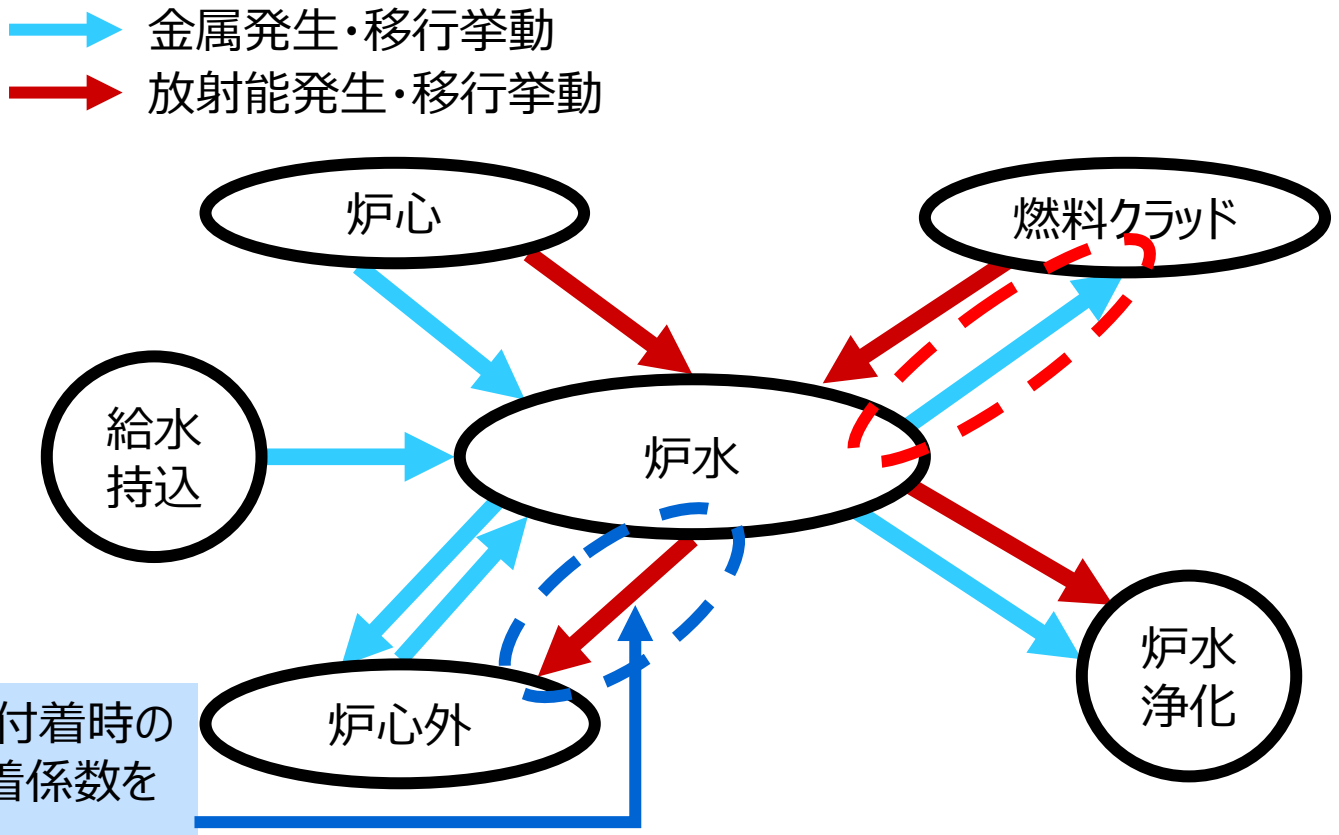


モデル改良の一環としてパラメータ影響評価のためのデータを
新たに取得しモデル評価の精度向上をめざす。

出典：根岸ら「軽水炉利用高度化に対応した線量率低減技術の開発(5)
酸化チタン適用時の放射能付着量評価」 原子力学会2019秋の大会

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

2. 目的



酸化チタン付着時のCo-60付着係数を取得

【目的】

SCC抑制対策である**酸化チタン適用時**の炉心外の放射能付着挙動を評価、Co-60付着係数取得に資する

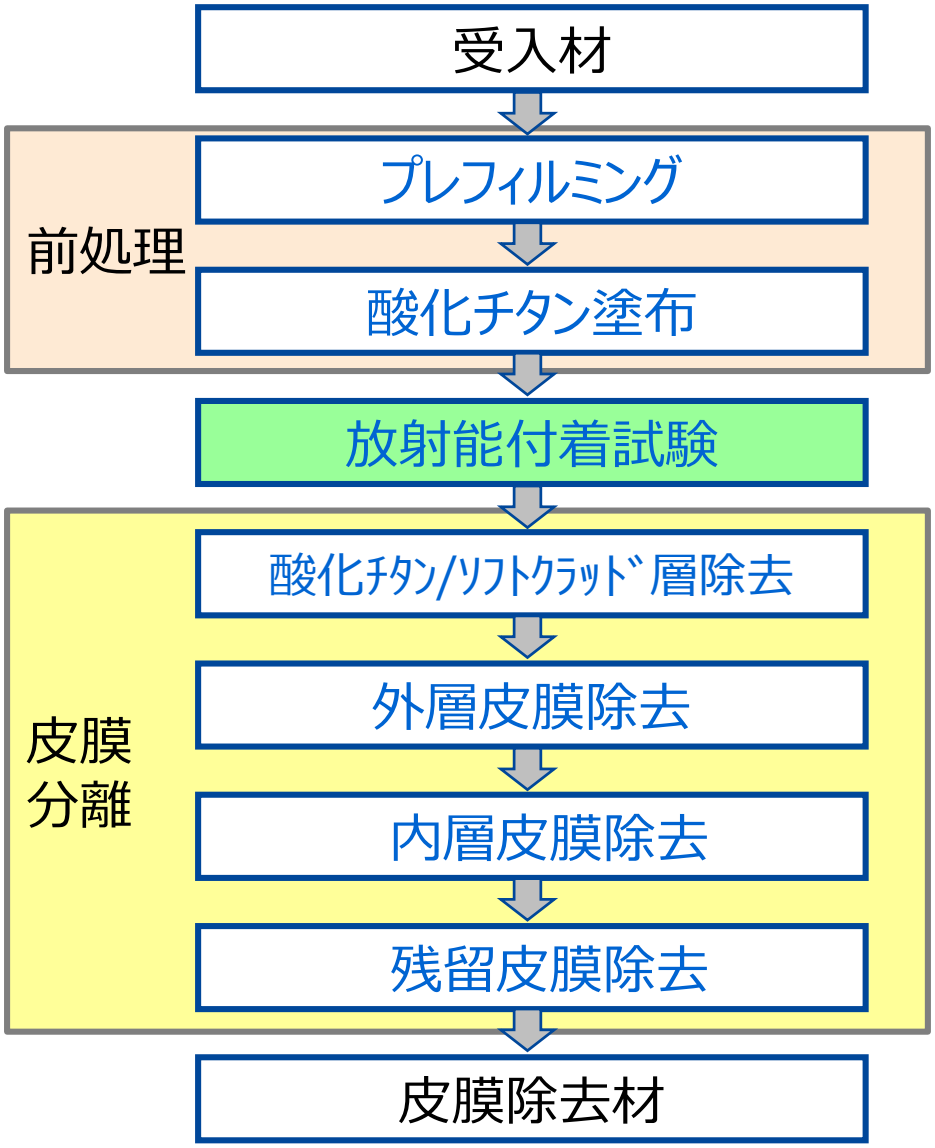
出典：原子力学会2017秋の大会、洞山ら

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

3. 実施内容概要

- 酸化チタン塗布試験片の放射能(Co-60)付着試験を実施
- 試験片に生成した皮膜を分離し各皮膜への放射能取込量を評価

【試験フロー】



出典：矢板ら「軽水炉利用高度化に対応した線量率低減技術の開発(6)
酸化チタン適用時の放射能付着量評価」 原子力学会2019秋の大会

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

4. 試験条件 －水質条件、試験片－

【水質条件】

◆プレフィルミング

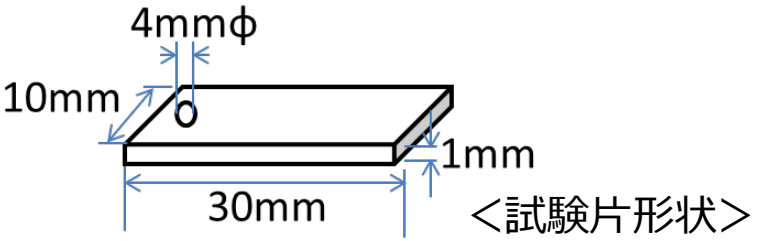
項目	条件
温度 (℃)	280
圧力 (MPa)	8
処理時間 (h)	500
Ni濃度 (ppb)	0.2 , 2
DO/DH/H_2O_2 濃度(ppb)	NWC: 140 / 5 /150

◆放射能付着試験

項目	条件
温度 (℃)	280
圧力 (MPa)	8
処理時間 (h)	500
Ni濃度 (ppb)	0.2 , 2
Zn濃度(ppb)	0 , 5
DO/DH/H_2O_2 濃度 (ppb)	NWC:140 / 5 /150 HWC: 10 /30/ 60
Co-60濃度(Bq/cm^3)	0.015

【試験片】

SUS316Lの板状試験片



＜試験片形状＞

上記試験片の10×30 mmの二面にスプレー法で酸化チタンを塗布

出典：矢板ら「軽水炉利用高度化に対応した線量率低減技術の開発(6)
酸化チタン適用時の放射能付着量評価」 原子力学会2019秋の大会

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

4. 試験条件 – 試験マトリクス –

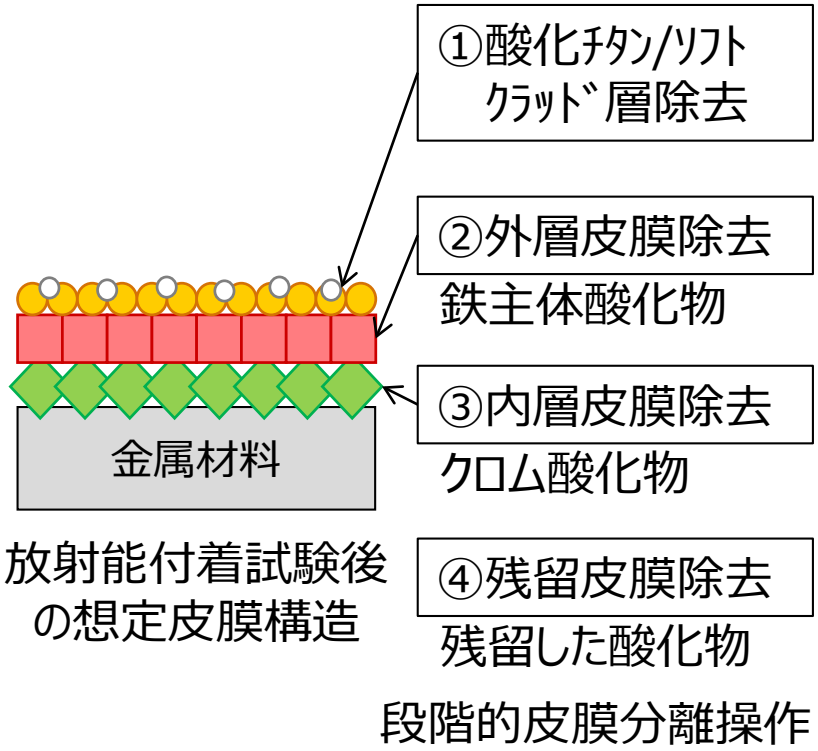
水素注入有無	NWC				HWC			
Ni濃度 (ppb)	0.2		2.0		0.2		2.0	
Zn濃度(ppb)	0	5	0	5	0	5	0	5
TiO_2量 ($\mu g/cm^2$)	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	30	30	30	30	30	30	30
	100	100	100	100	100	100	100	100

水素注入有無、Ni濃度、Zn注入有無、酸化チタン塗布量をパラメータとした試験を実施

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

5. 皮膜分離方法

【皮膜分離方法】



放射能付着試験後の想定皮膜構造

段階的皮膜分離操作

除去対象	分離方法
①酸化ﾁﾀﾝ (Ti層) /ｿﾌﾄｸﾗｯﾄﾞ (ｿﾌﾄ)	超音波洗浄 付着物を超音波により剥離
②外層皮膜(外層)	ギ酸溶液中陰極電解 鉄主体酸化物を還元溶解・剥離
③内層皮膜(内層)	アルカリ過マンガン酸(AP)法 クロム主体酸化物を酸化溶解
④残留皮膜	クエン酸アンモニウム（AC）法 残留酸化物をキレート溶解

【分析】

・試験片：重量測定、放射能量測定(Ge)、XRD測定、外観・SEM観察

・皮膜分離回収物：溶解処理後元素分析(ICP-AES)、放射能量測定（Ge）

出典：矢板ら「軽水炉利用高度化に対応した線量率低減技術の開発(6)
酸化チタン適用時の放射能付着量評価」 原子力学会2019秋の大会

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

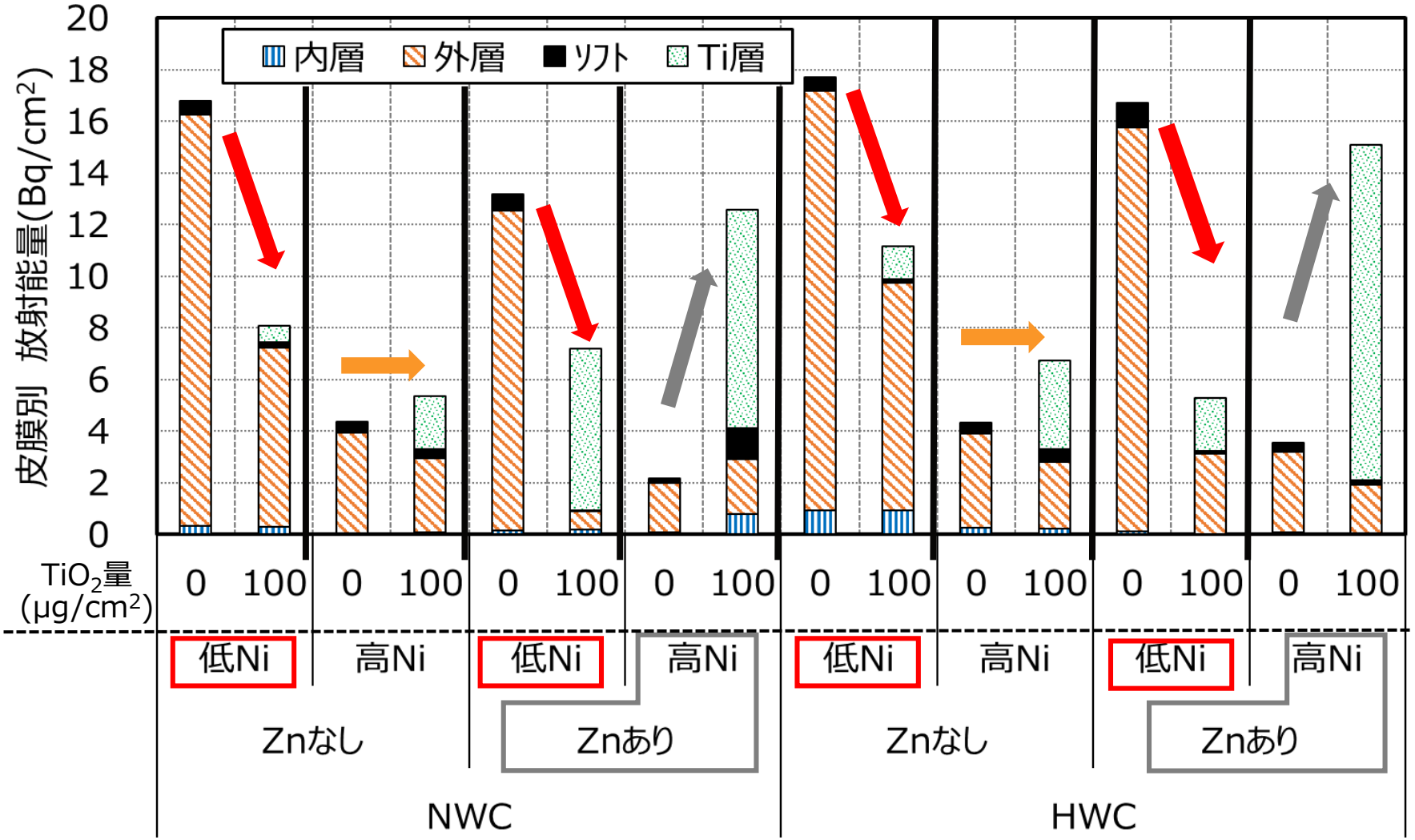
6. 結果　－各操作における試験片の外観観察($TiO_2$100μg/cm²) －

	低Ni Znなし	低Ni Znあり	高Ni Znなし	高Ni Znあり
受入材(AR)				
プレフィルミング後				
TiO_2 塗布後				
試験後				
超音波洗浄後				
陰極電解後				
AP法処理後				
AC法処理後				

・超音波洗浄後、酸化チタン有無による外観上の顕著な差異なし
・AC法処理後は、皮膜は全量除去

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

6. 結果　－分離皮膜中の放射能量－



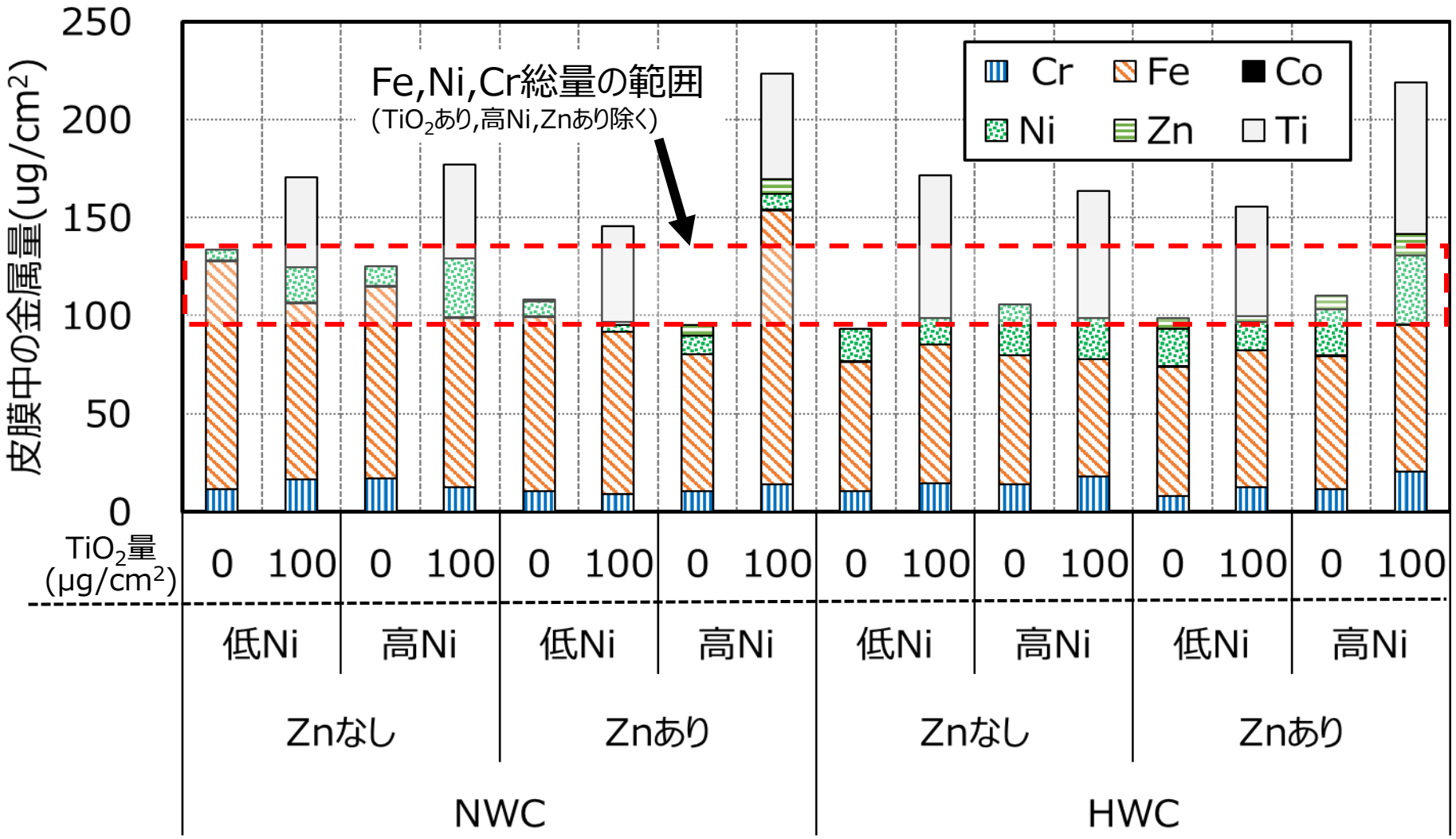
・酸化チタンによる放射能付着量への影響

低Ni時：付着低減、高Ni・Zn注入時：付着増加

・水質等条件による放射能付着量への影響が大

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

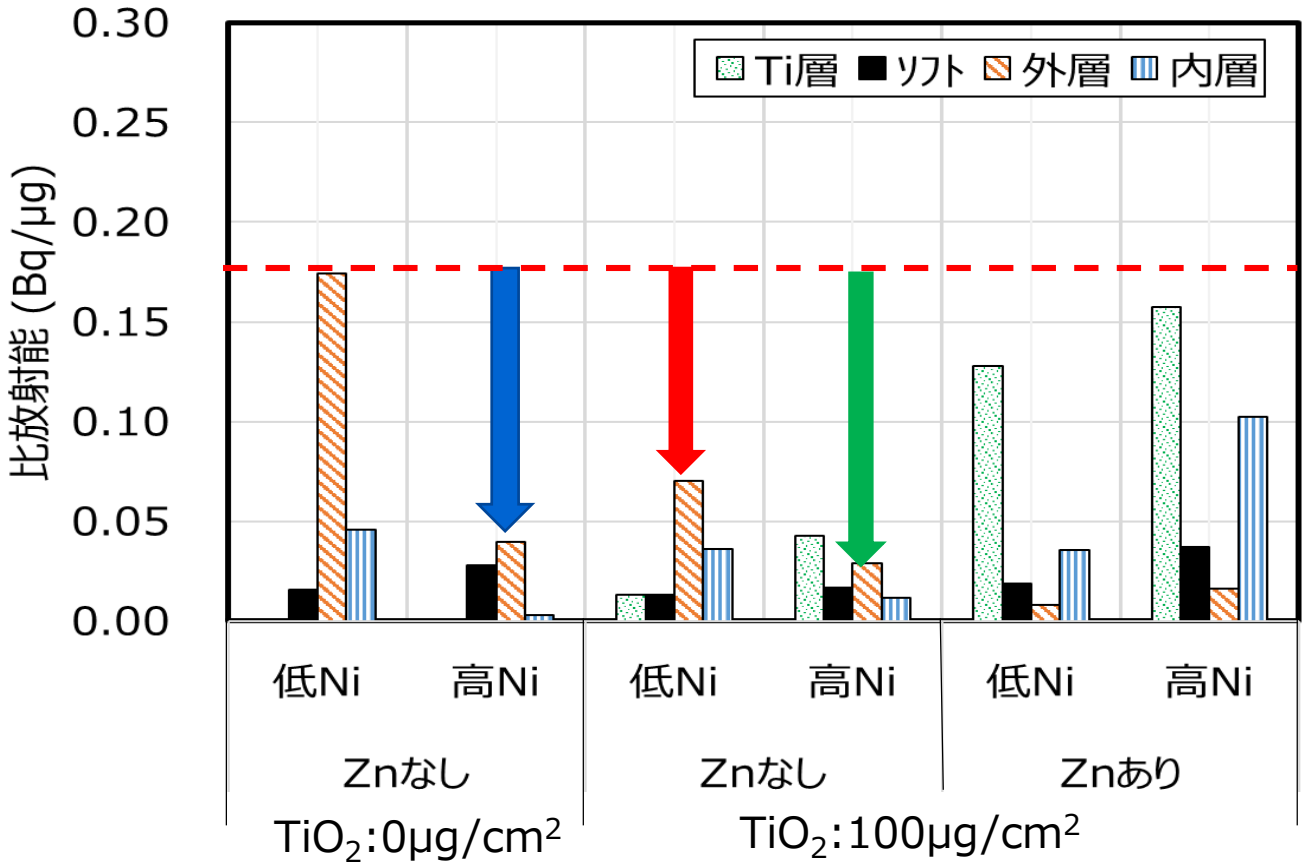
6. 結果　－皮膜毎の主要金属量－



放射能付着量と異なり、皮膜量は水質等条件による影響が小

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

6. 結果　－皮膜毎の比放射能（NWC）－



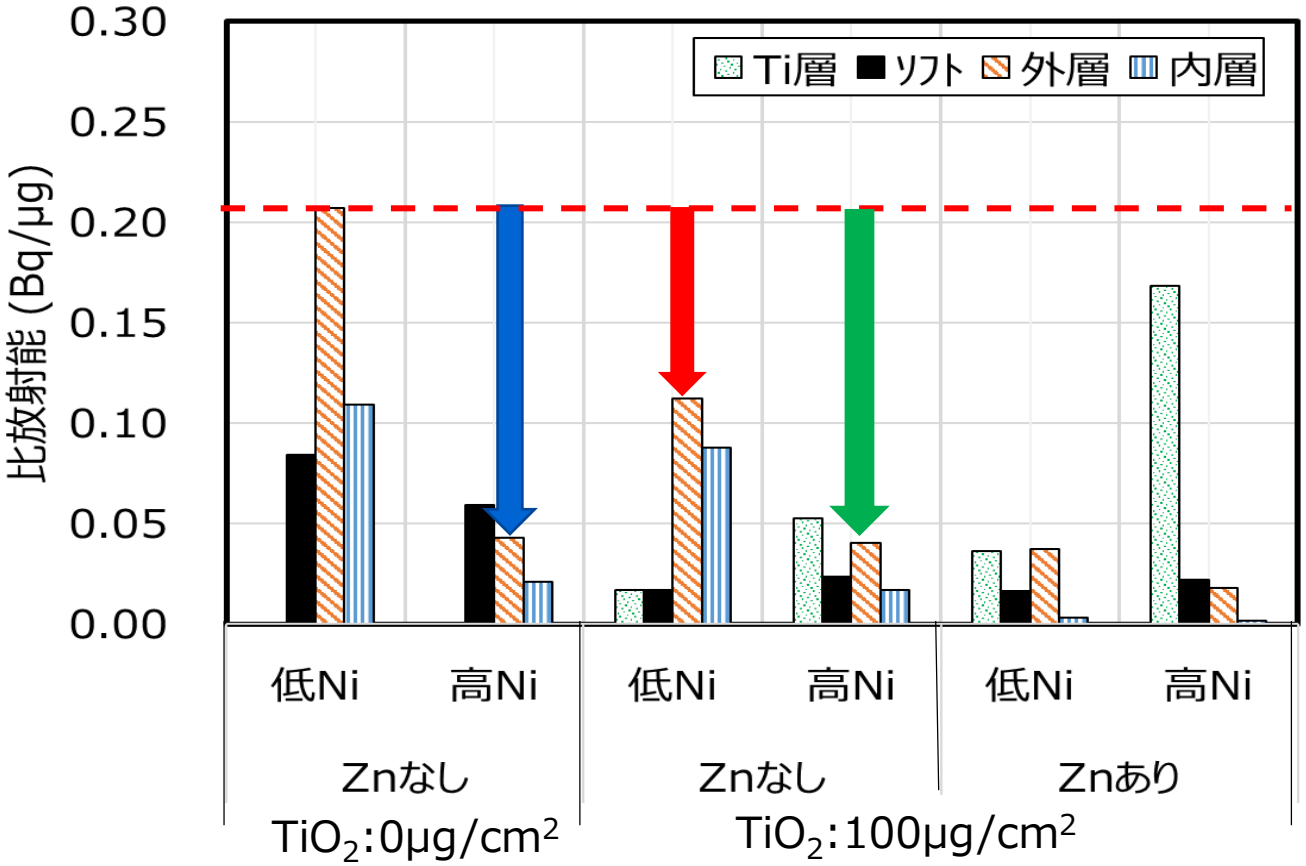
高Niの効果（　）
酸化チタンの効果（　）
高Ni+酸化チタンの効果（　）

外層皮膜のCo-60付着抑制

<u>酸化チタンによる放射能付着抑制効果</u>
皮膜成長抑制ではなく、酸化チタン層より内部への放射能侵入を抑制する遮蔽効果と推察

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

6. 結果　－皮膜毎の比放射能（HWC）－

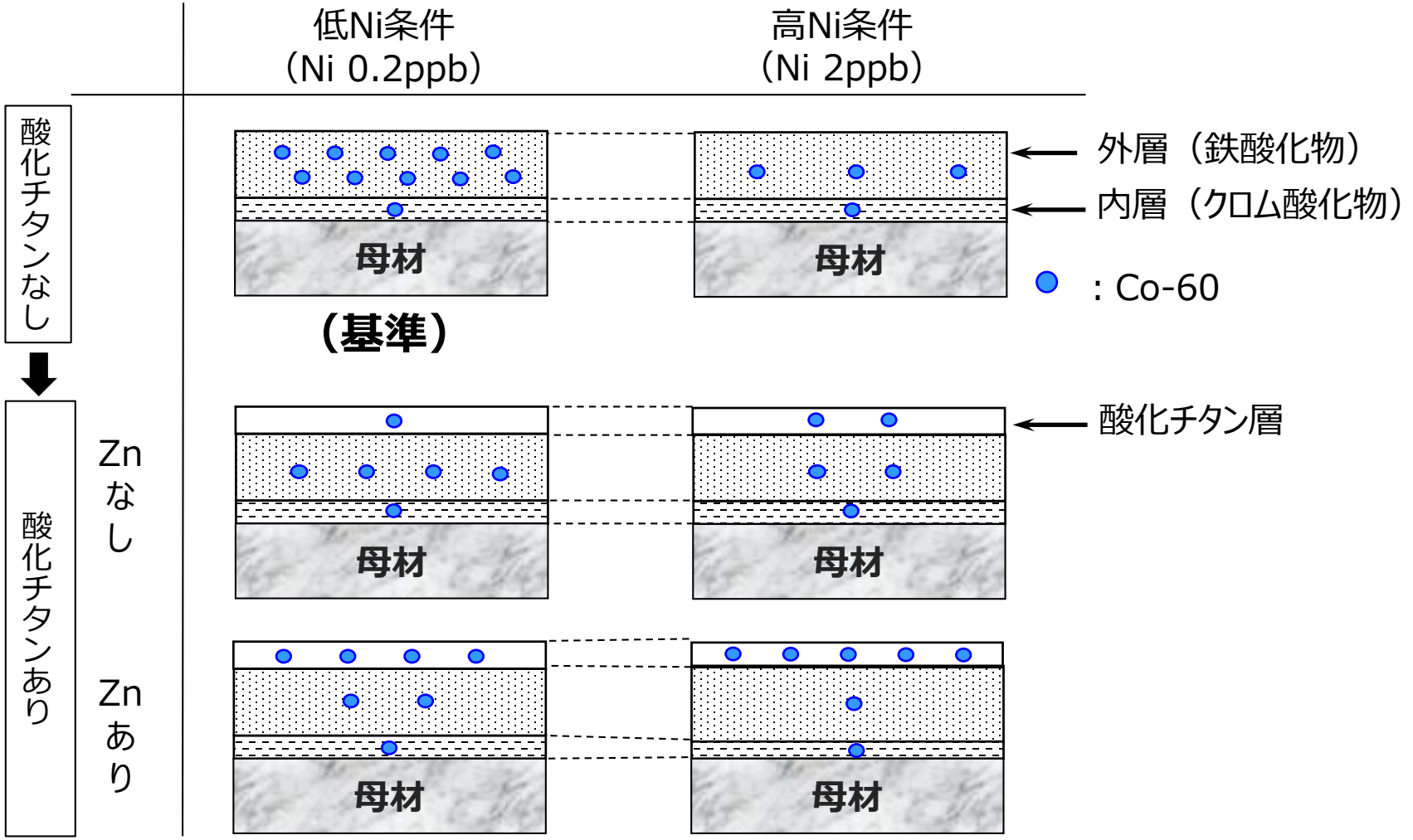


高Niの効果（➡）
酸化チタンの効果（➡）
高Ni+酸化チタンの効果（➡）
} 外層皮膜のCo-60付着抑制

<u>酸化チタンによる放射能付着抑制効果</u>
皮膜成長抑制ではなく、酸化チタン層より内部への放射能侵入を抑制する遮蔽効果と推察

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

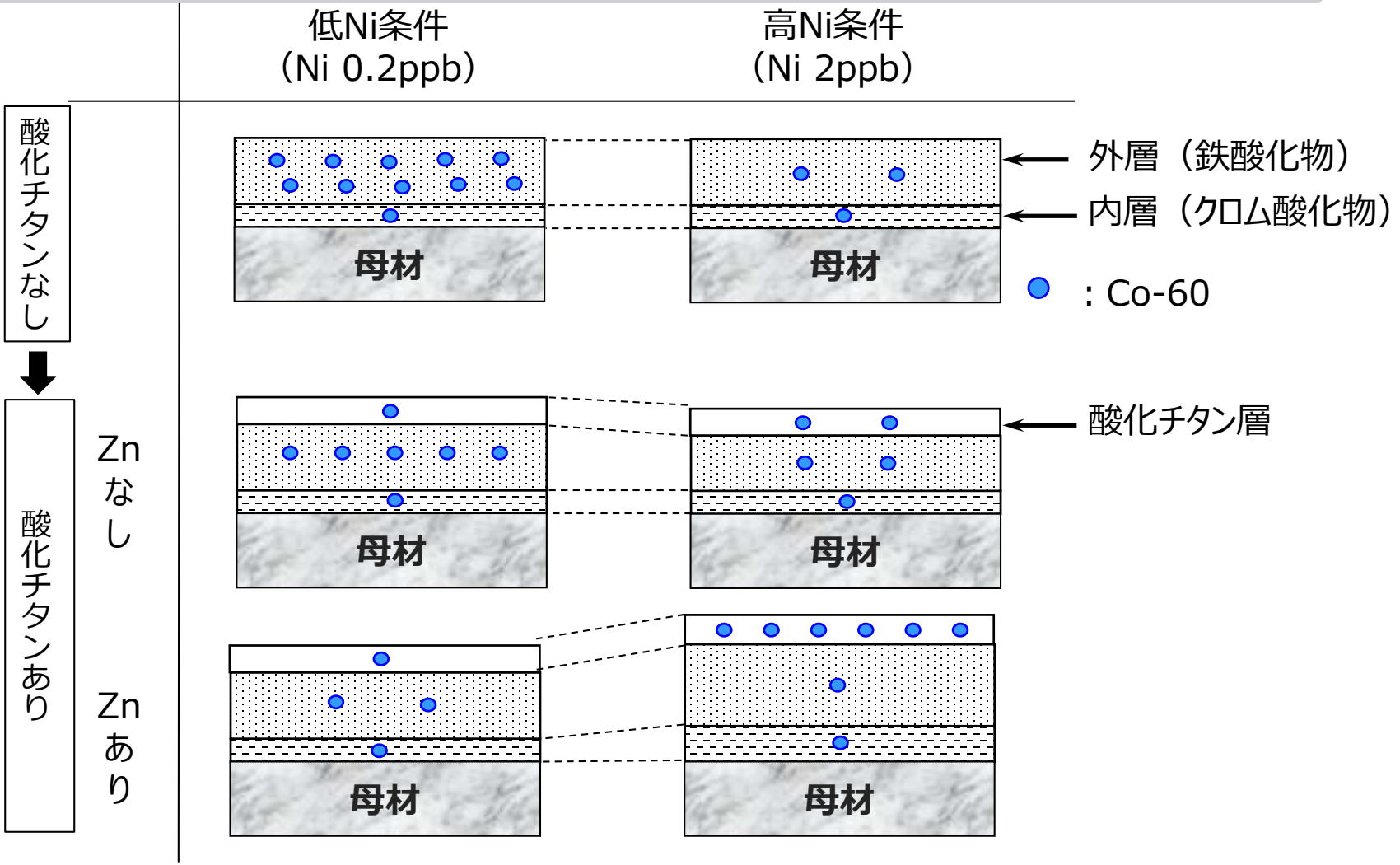
7. 考察　－通常水質（NWC）でのステンレス鋼酸化皮膜－



Ni影響：高Ni条件で放射能付着量が低減される。
酸化チタン影響：低Ni条件の場合、放射能付着量が顕著に低減される。
Zn影響：酸化チタンと共存すると高Niの場合、放射能付着量が増加する。

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

7. 考察　－水素注入水質（HWC）でのステンレス鋼酸化皮膜－



Ni影響：高Ni条件で放射能付着量が低減される。
酸化チタン影響：低Ni条件の場合、放射能付着量が顕著に低減される。
Zn影響：酸化チタンと共存すると高Niの場合、放射能付着量が増加する。

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

8. 結言

■ 水質条件と酸化チタンの有無をパラメータとしたステンレス鋼へのCo-60付着挙動評価を行い、以下の知見を得た。

- どの水質条件においてもCo-60は外層に取り込まれやすい傾向にある。
- 酸化チタン付着により、外層へのCo-60の取込みを顕著に抑制することができる。
- 比放射能の結果から、上記抑制効果は酸化チタンによる皮膜成長抑制効果ではなく遮蔽効果によるものと推察される。

■ 今後の予定

- 本試験で得られた評価結果は放射能付着評価モデルへ反映する。

© 2020 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

TOSHIBA