



# 火力発電プラントのスケール付着問題 および国際水処理ガイダンスの動向

---

電力中央研究所

平野秀朗

第19回 日本原子力学会 水化学部会 定例研究会

2013年6月27日

 電力中央研究所

## 講演内容

1. 軽水炉および火力発電の水処理技術に対する考え
2. 火力発電所におけるスケール付着問題
  - 2-1. 酸素処理法の適用
  - 2-2. パウダー状スケール問題
  - 2-3. 最近の火力発電所の水処理問題
3. IAPWS国際水処理ガイダンス策定の動向
4. まとめ

# 1. 軽水炉および火力発電の水処理技術に対する考え

## 軽水炉発電

水化学; 材料, 燃料の健全性確保, 被ばく低減, 放射性廃棄物の低減。

## 我が国の火力発電

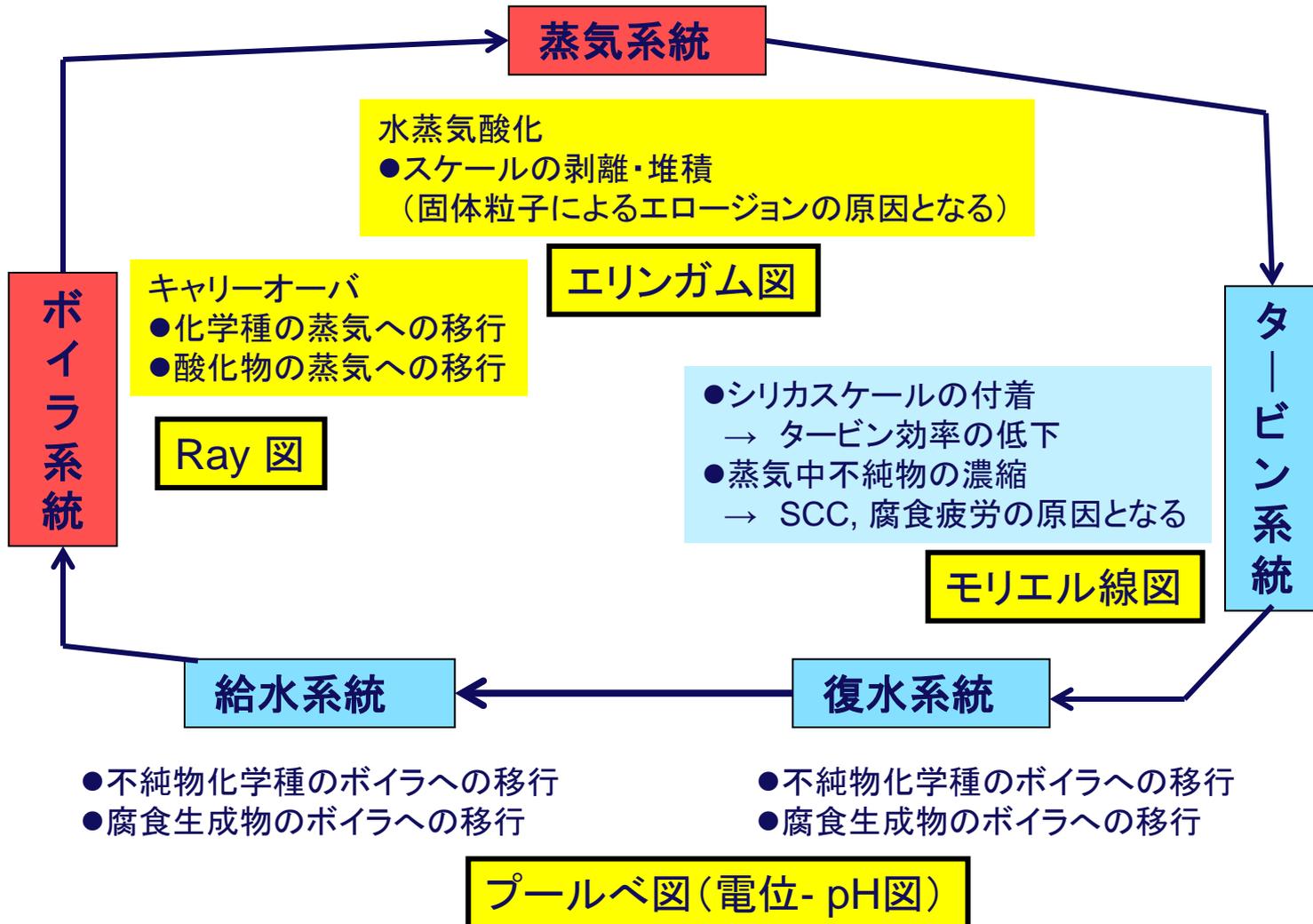
(サイクル化学という概念を取り入れていこうという機運にあるが) ボイラの給水およびボイラ水処理が中心。

## 欧米の火力発電

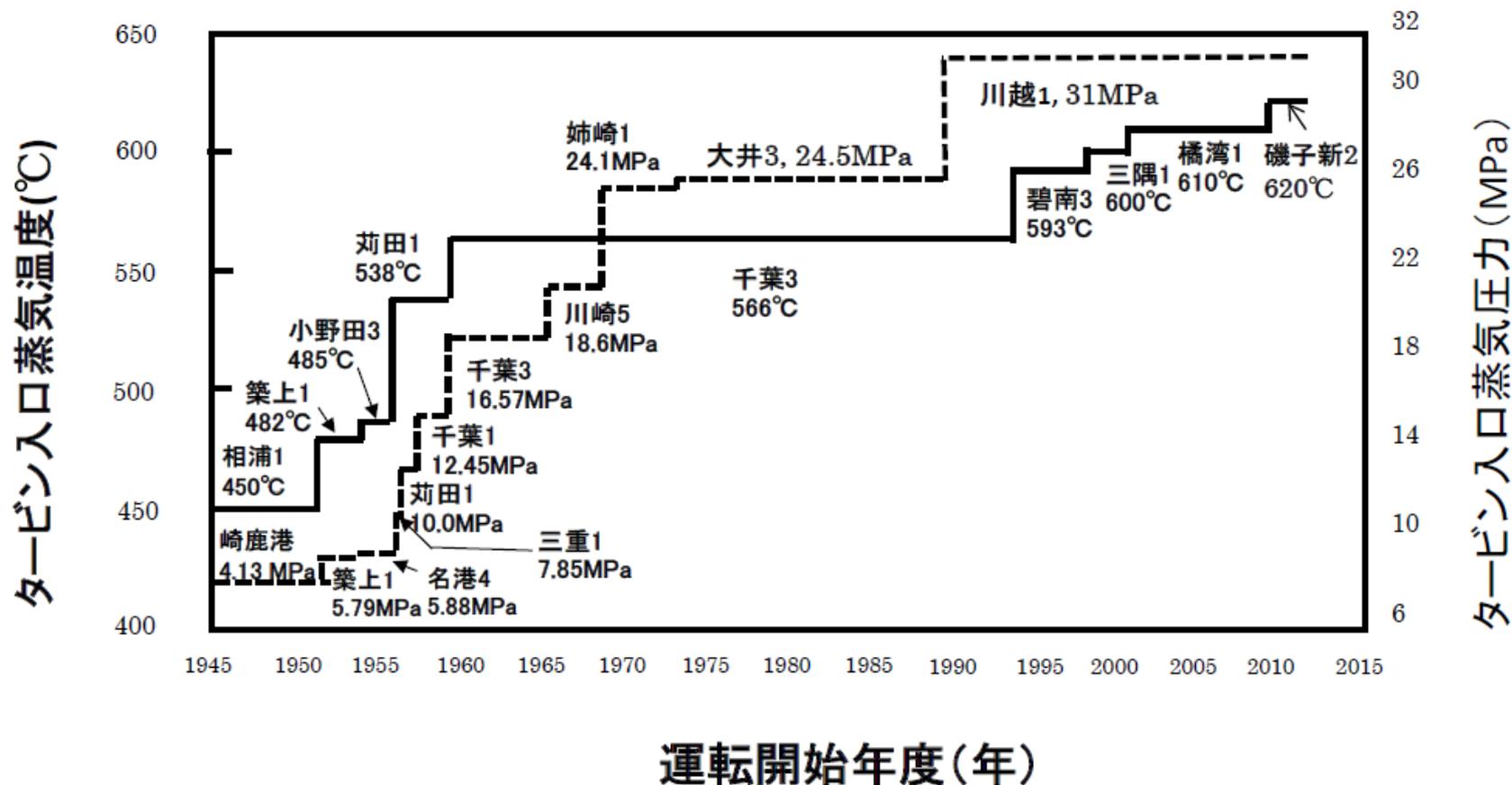
サイクル化学: 火力発電は, 水・蒸気のサイクルにより成り立っていると考え, その全体に責任をもって関与していこうという考え。

復水→給水→ボイラ→蒸気→タービン→復水→ ……

# 水・蒸気サイクル化学の考え方



# 汽力発電設備の蒸気圧力および蒸気温度の変遷



# 火力発電所の水処理

## 汽力発電方式

水処理方式	ボイラ形式	給水処理	ボイラ水処理
りん酸塩処理	循環ボイラ	揮発性物質処理	りん酸塩処理
揮発性物質処理	循環ボイラ	揮発性物質処理	揮発性物質処理
	貫流ボイラ	揮発性物質処理	
酸素処理	貫流ボイラ	酸素処理	

## コンバインド発電方式

水処理方式	ボイラ形式	給水処理	ボイラ水処理
りん酸塩処理	循環ボイラ	揮発性物質処理	りん酸塩処理
揮発性物質処理	循環ボイラ	揮発性物質処理	揮発性物質処理

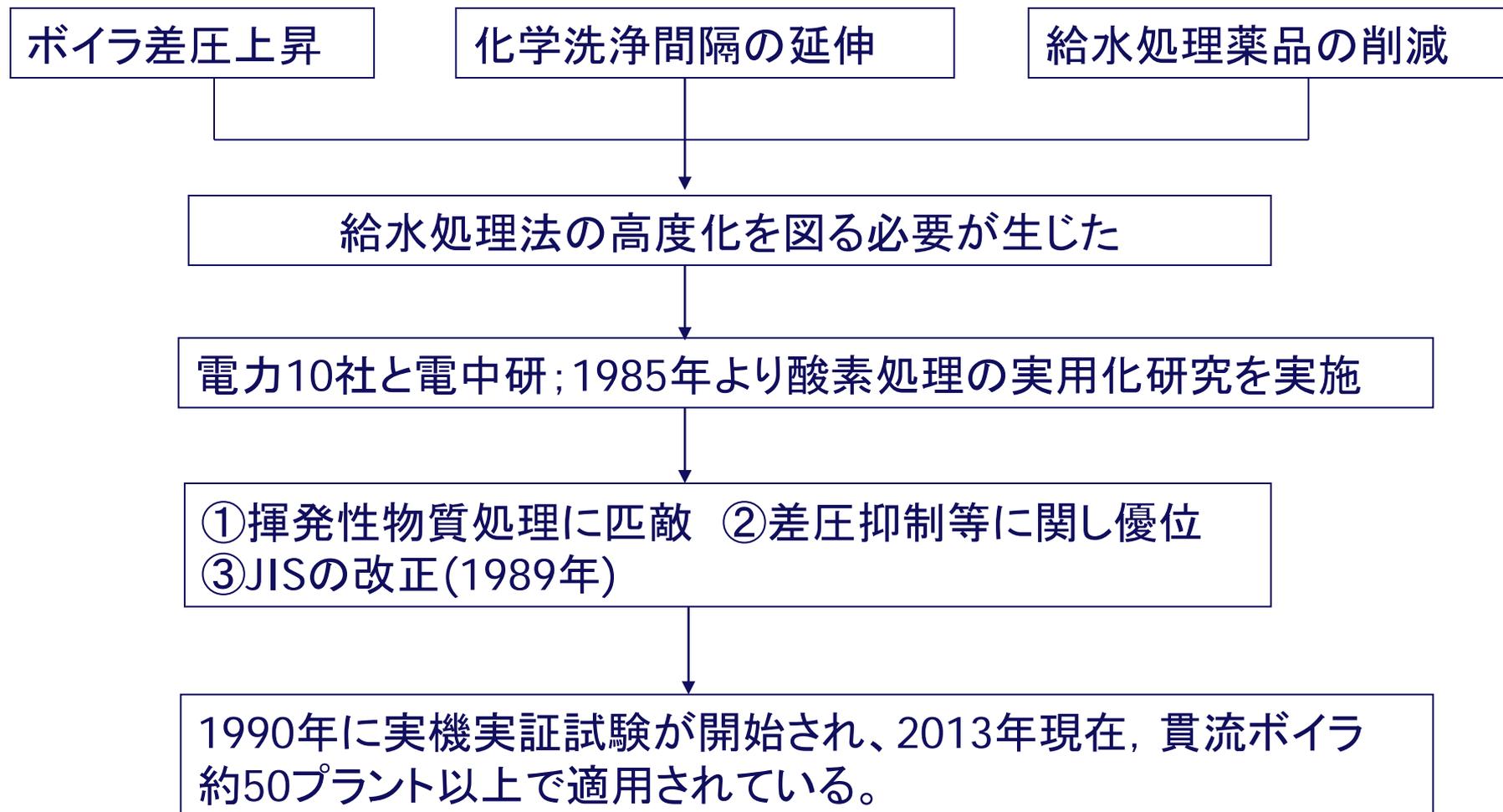
## 講演内容

1. 軽水炉および火力発電の水処理技術に対する考え
2. 火力発電所におけるスケール付着問題
  - 2-1. 酸素処理法の適用
  - 2-2. パウダー状スケール問題
  - 2-3. 最近の火力発電所の水処理問題
3. IAPWS国際水処理ガイダンス策定の動向
4. まとめ

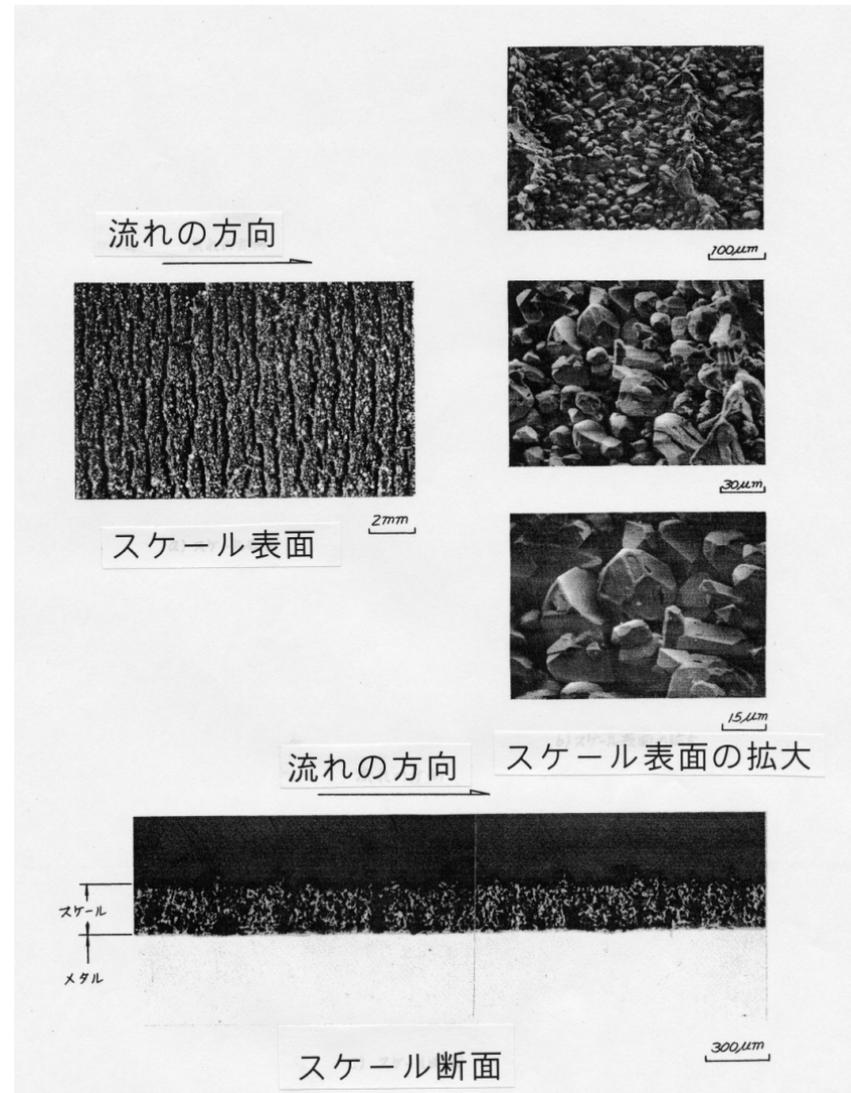
## 2. 火力発電所におけるスケール付着問題

- **給水系統**
  - 給水ポンプインペラへのスケール付着
  - 高圧給水加熱器整流筒の目詰まり, 管内面へのスケール付着による差圧上昇
- **ボイラ系統**
  - 水壁管のスケール付着による過熱噴破
  - スケール付着によるオリフィスの差圧上昇
  - 波状スケール生成によるボイラ差圧の上昇
- **ボイラ～蒸気系統**
  - パウダー状スケール生成による水冷壁管の損傷
- **蒸気系統**
  - 水蒸気酸化スケールの剥離・堆積による過熱器管および再熱器官の損傷
- **タービン系統**
  - シリカスケール付着によるタービン効率の低下

## 2-1. 酸素処理法適用の経緯

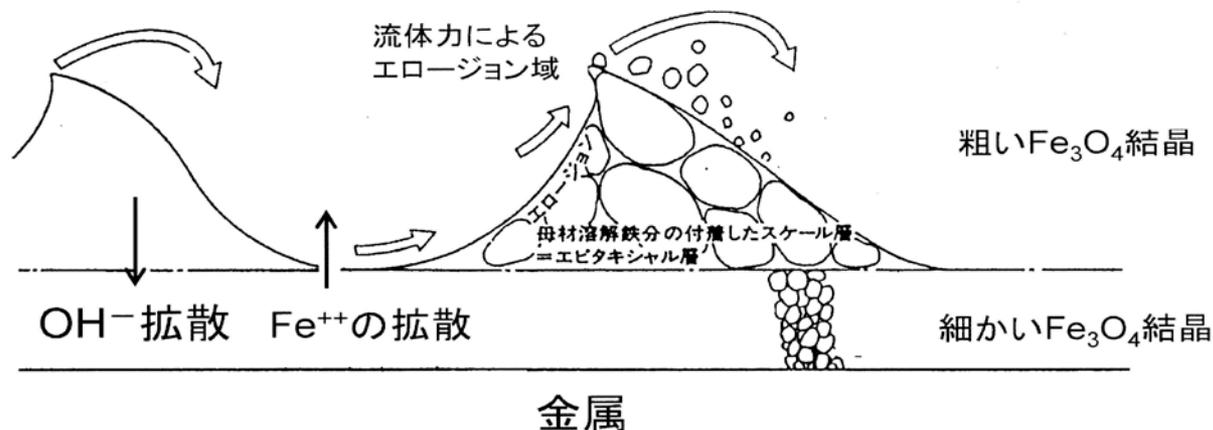


# 水壁管内面に生成した波状スケール

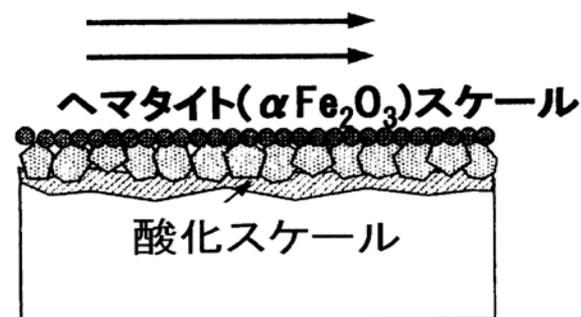


# 酸素処理法適用による波状スケールの抑制

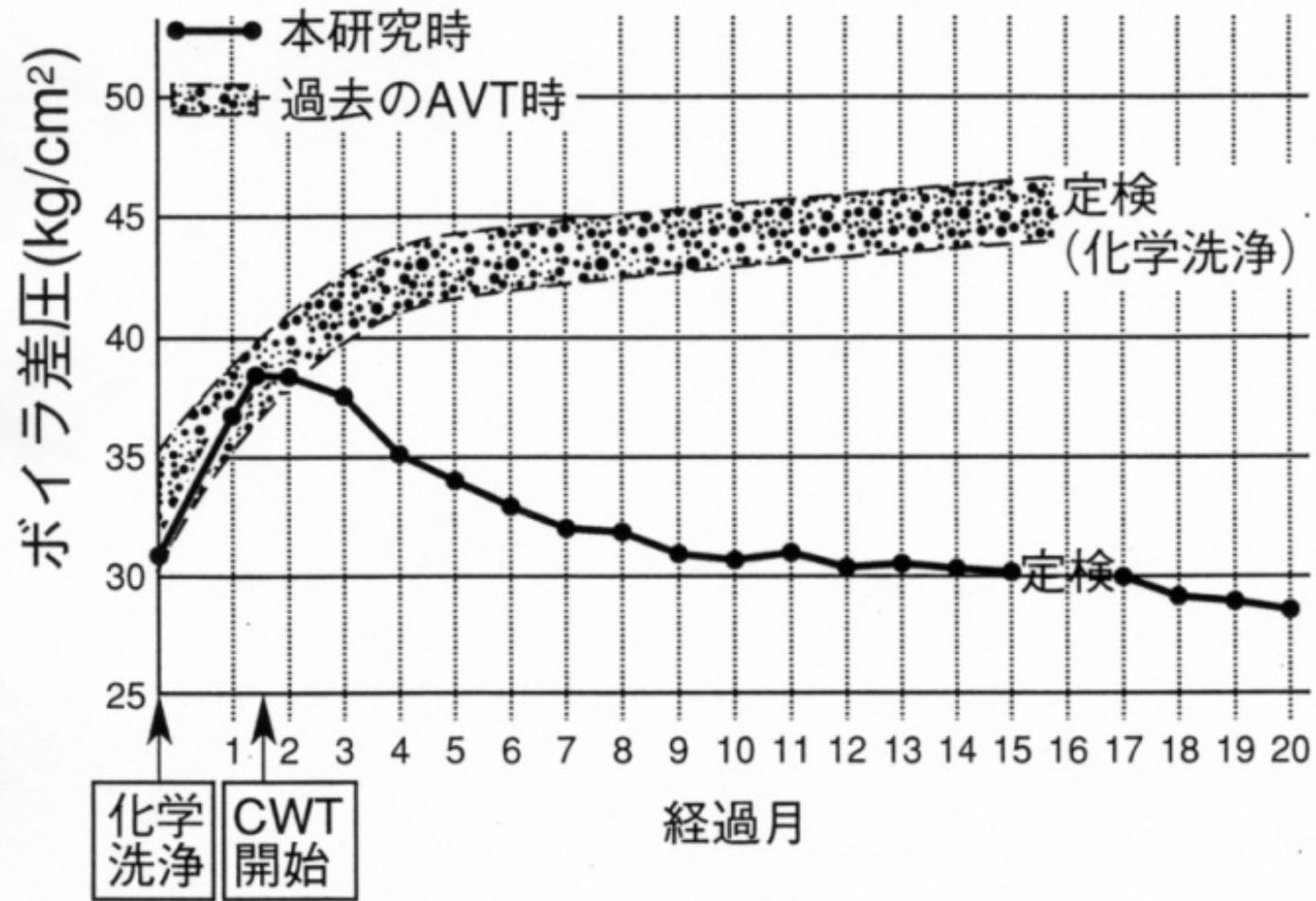
AVT(R)条件下で生成した波状スケールの模式図



酸素処理法適用による波状スケールの平滑化

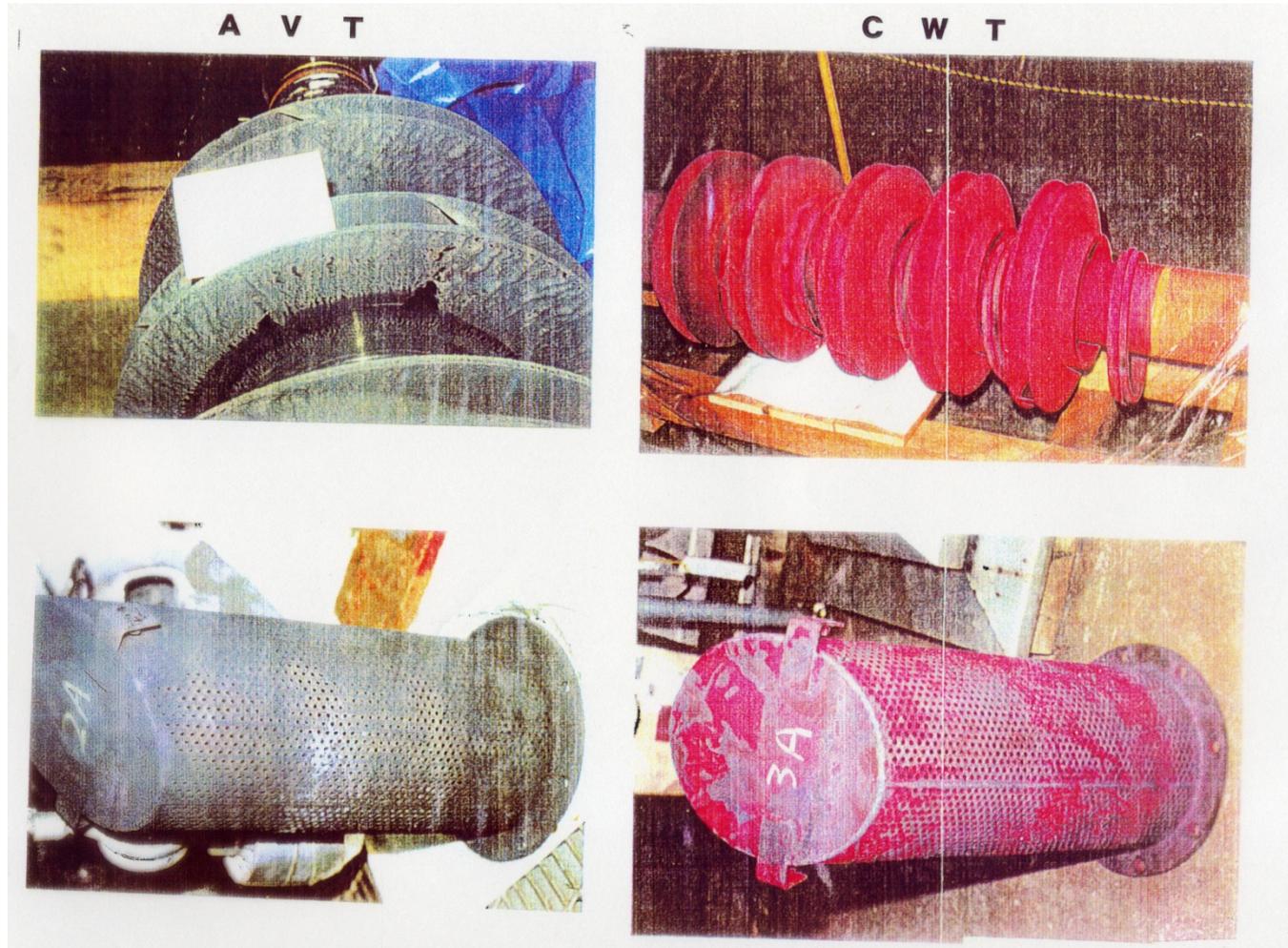


# 酸素処理法適用によるボイラ差圧の抑制



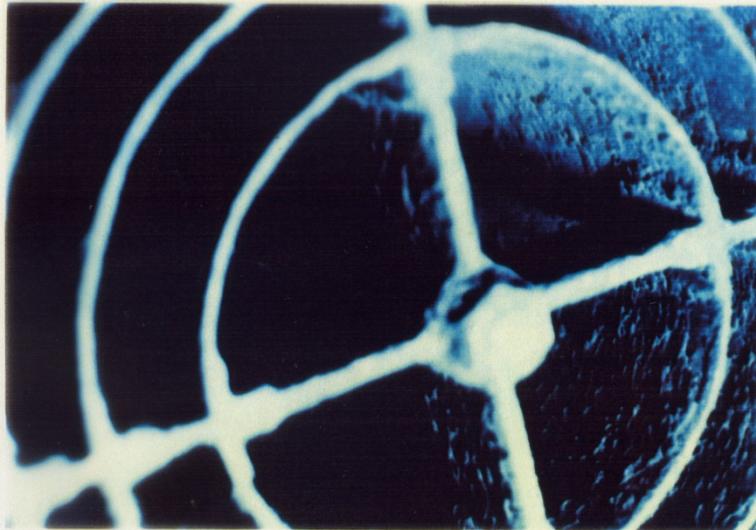
出典: 若原他: 火力原子力発電, Vol.44, No.2, p.34-45(1993)

## 酸素処理適用後の給水系統機器類の概観(1)



# 酸素処理適用後の給水系統機器類の概観(2)

AVT



CWT



## 2-2. パウダー状スケール問題

- ・国内の酸素処理法適用プラントにおいて、数ユニットにおいてパウダー状スケールに起因していると推定されるボイラ蒸発管損傷が発生している。
- ・発生箇所は、亜臨界圧から超臨界圧へと移る遷移領域、すなわち、一次水冷壁と二次水冷壁とが交差するミキシング部等に発生。
- ・原因としては、低圧ヒータドレン等からの鉄の持込み説、および、給水鉄濃度とpHの高いユニットではパウダー状スケールが増加するとの説があり、機構解明に基づいた対策の確立が重要な課題となっている。

## 2-3. 最近の火力発電所の水処理問題

- ◆従来、国内の事業用火カプラントのボイラ給水処理法としてpH調節用にアンモニアを、脱酸素剤にヒドラジンをを用いるAVT (Reducing) [AVT(R)]が用いられてきた。
- ◆しかしながらヒドラジンは、1994年に変異原性が認められる化学物質に指定され、厚生労働省より健康被害を防止するための指針が公表されるなどの動きがある。
- ◆国内では、ヒドラジン代替脱酸素剤の適用調査、および米国等の諸外国で実施されているAVT (Oxidizing) [AVT(O)]法の適用研究、並びに実機適用試験が実施され、従来のAVT(R)と同程度の腐食抑制効果が得られた報告されている。

## 揮発性物質処理, 酸素処理法の給水管理基準の例

	AVT(R)	AVT(O)	酸素処理
材料系統	全鉄系、鉄-銅混合系	全鉄系	全鉄系
pH at 25°C	全鉄系: 9.2 ~ 9.6	9.2 ~ 9.6	6.5 ~ 9.3
	鉄-銅混合系: 9.0 ~ 9.3		
酸電気伝導率	<0.02 mS/m	<0.02 mS/m	<0.02 mS/m
溶存酸素(復水ポンプ出口)	<10	<10	-----
溶存酸素(節炭器入口)	<5	<10	20 ~ 200
還元剤	必要	不要	不要
酸化還元電位 (脱気器入口)	-350 ~ -300 (必ずしも必要としない)	0 ~ 50 (参考値)	

## 我が国水処理規格へのAVT(O)設定の検討

我が国の復水器および脱気器の性能は、極めて良好であり、ヒドラジン注入を止めてもAVT(O)の基準とされるDO7ppb程度にならない。このため、AVTについては、下記3方法の設定が検討されている。

1. AVT(R):  
給水のpH調整剤としてアンモニアを、脱酸素剤としてヒドラジンを用いる従来からの方法
2. AVT(ヒドラジン無注入):  
給水のpH調整剤としてアンモニアを用いる。復水器および脱気器により、脱酸素を行う。
3. AVT(O):  
給水のpH調整剤としてアンモニアを用いる。ヒドラジン等の脱酸素剤を注入せず、微量の溶存酸素の存在を積極的に許容する水処理方法である。

## 講演内容

1. 軽水炉および火力発電の水処理技術に対する考え方
2. 火力発電所におけるスケール付着問題
  - 2-1. 酸素処理法の適用
  - 2-2. パウダー状スケール問題
  - 2-3. 最近の火力発電所の水処理問題
3. IAPWS国際水処理ガイダンス策定の動向
4. まとめ

## IAPWS(国際水蒸気性質協会)の最近の動向

IAPWSは、水および蒸気の挙動、特に高温の蒸気、水および水溶液の熱物性や物理化学的諸性質の解明、応用を目的とした国際的非営利協会。

- 下記Working Group (WG)及びSubcommitteeから構成されている。
  - ◆ TPWS: Thermophysical Properties of Water and Steam WG
  - ◆ SCSW: Subcommittee on Seawater
  - ◆ IRS: Industrial Requirements and Solutions WG
  - ◆ PCAS: Physical Chemistry of Aqueous Solutions WG
  - ◆ PCC: Power Cycle Chemistry WG

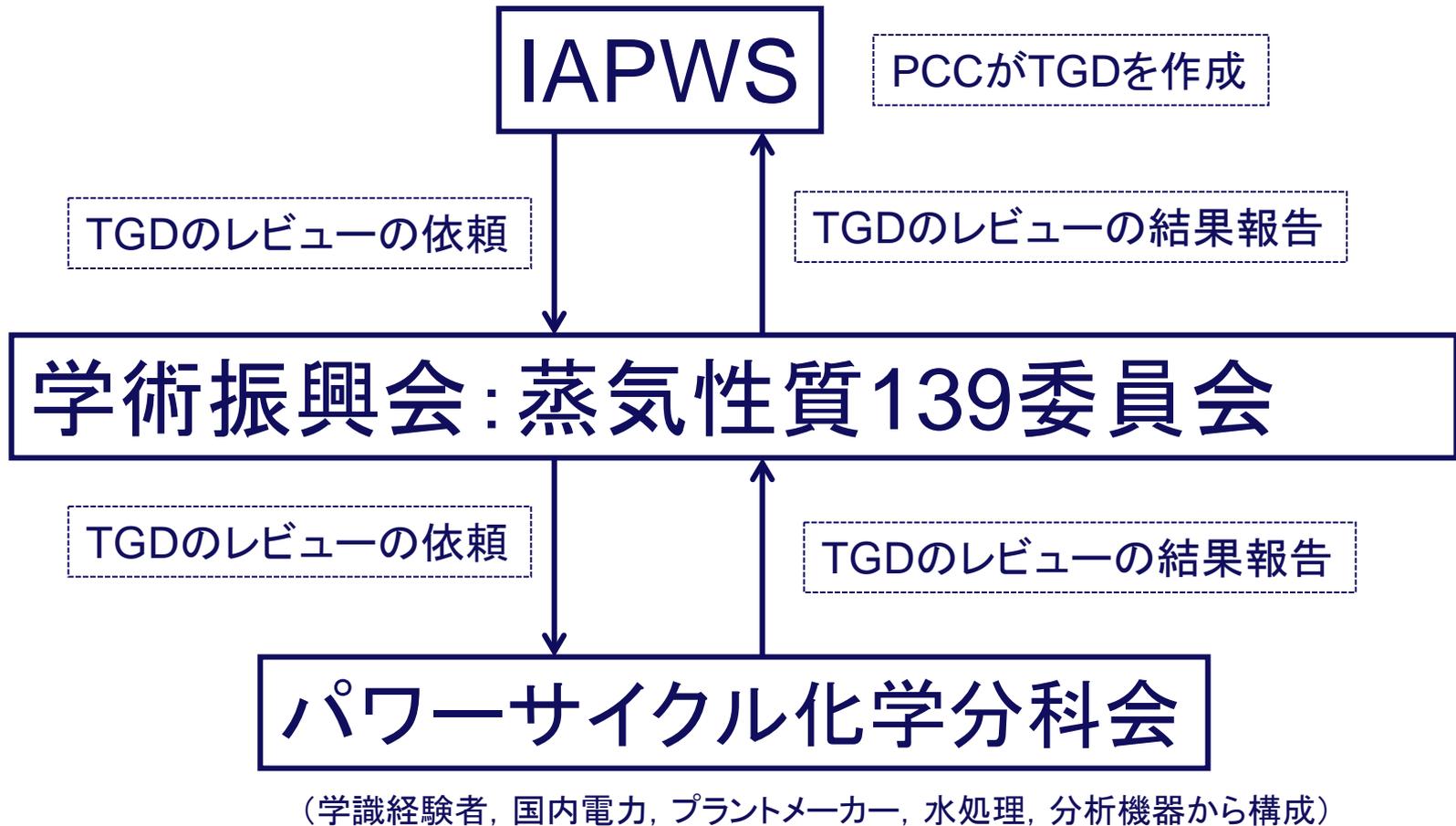
## IAPWSが2010年以降制定した Technical Guidance Document (TGD)

- 2010年7月にカナダのナイアガラフォールズ市で開催されたIAPWSの年会で、「Technical Guidance Document: Volatile treatments for the steam-water circuits of fossil and combined cycle/HRSG power plants」がオーソライズされた。
- 2011年9月にチェコのビルゼン(Plzen)市で開催されたIAPWSの年会で、「Phosphate and NaOH treatments for the steam-water circuits of drum boilers of fossil and combined cycle / HRSG power plants」がオーソライズされた。
- ・IAPWSは、歴史ある国際的な協会であり、同協会提唱のガイダンスが、今後、国際標準として認知されていく可能も考えられる。

# IAPWS Technical Guidance Document (TGD): IAPWS 技術手引書に関するこれまでの活動報告

1. キャリーオーバー測定に係るガイダンス(2008年9月制定)  
Procedures for the Measurement of Carryover of Boiler water and Steam
2. モニタリング用計測用機器ガイダンス(2009年制定、2012年改訂)  
Instrumentation for monitoring and control of cycle chemistry for the steam-water circuits of fossil-fired and combined-cycle power plants
3. 揮発性物質処理に係るガイダンス(2011年9月制定)  
Volatile treatments for the steam-water circuits of fossil and combined cycle / HRSG power plants
4. リン酸塩と水酸化ナトリウム処理に係るガイダンス(2011年9月制定)  
Phosphate and NaOH treatments for the steam-water circuits of drum boilers of fossil and combined cycle / HRSG power plants
5. タービン運転に係る蒸気質ガイダンス:  
Steam Purity for Turbine Operation:  
2013年の年会までに策定し、理事会で承認予定
6. 腐食生成物のモニタリングと分析:  
Corrosion Product Sampling and Analysis:  
2013年の年会で内容について議論

# IAPWS TGDに対する我が国の対応



# IAPWS Technical Guidance Document: Steam Purity for Turbine Operation (1)

1. Nomenclature and Definitions
  2. Introduction: Purpose of Document and How to Use it
  3. Background
  4. Requirements to limit the effects of poor steam chemistry
  5. Table of Chemistry Limits
  6. Road Map Approach to Customize Steam Purity Limits to Plants with Specific Features
  7. Bibliography and References
- 上記第1章～第4章はほぼ完成。
  - 第5章では、原子力(BWR, PWR)および地熱の蒸気質の管理値の表を入れるか否かを議論し、第6章に掲載することになった。また、Industrial Turbineも第6章に記載することになった。
  - 第6章の記載事項は決定。本文はこれから作成される。

## IAPWS Technical Guidance Document: Steam Purity for Turbine Operation (2)

Table 1. Steam purity for condensing utility turbines with superheated steam, applicable for AVT, CT, OT, fossil fired plants.  
Steam temperature < 600°C

Parameter	Unit	Normal/Target Values
Conductivity after cation exchange at 25 °C	$\mu$ S/cm	< 0.20
Sodium as Na	$\mu$ g/kg	< 2
Silica as SiO <sub>2</sub>	$\mu$ g/kg	< 10

# IAPWS Technical Guidance Document: Corrosion Product Sampling and Analysis

1. Nomenclature and Definitions
2. Introduction: Purpose of Document and How to Use it
3. Background
4. Soluble and Total Corrosion Product Analysis
5. Sampling Systems
  - 5.1 Design of optimum system
  - 5.2 Optimized sample nozzle
  - 5.3 Sample lines and Sampling Times
6. Iron and Copper Corrosion Product Grab Sample Optimal Sample Collection
7. Analytical methods for Corrosion Product Analysis – iron and Copper
  - 7.1 Analytical Methods – particulate Digestion
8. Validation and Quality Control
9. Bibliography and References

## PCC関連TGDに関する現状と今後の活動計画(案)

- Instrumentation TGDの改定
  - Steam Purity for Turbine Operation TGDの制定
  - Sampling and QA/QC TGDの制定
  - Carryover Documents TGDの改定
  - Amines
  - Others
- (Sampling とQA/QC(分析)は、2つに分けるべきだとの意見が出され、検討を進めることになった)

## 規格・基準に係わるグローバル化への対応

### 【IAPWSへの対応】

- ・IAPWSの火力水処理の国際基準化に係わる動向を注視する必要がある。

### 【JISと欧州との規格・基準に係わる相違点】

- ・欧州では蒸気質の基準が制定されているが、JISでは制定されていない。
- ・JISでは管理値を逸脱した場合のアクション・アイテムが制定されていない。
- ・JISが、グローバル・スタンダードとして位置付けられるためには、蒸気質およびアクション・アイテムを制定する必要があると考える。

## まとめ

1. 欧米では、火力発電は水・蒸気のサイクルから成り立っており、そのサイクル全体について強く関与していこうとの考えが普及している。
2. 超臨界および超々臨界プラントへの酸素処理法の適用により、給水およびボイラ系統のスケール問題は著しく減少した。しかし、水～蒸気系統のパウダースケール、および蒸気系統の水蒸気酸化スケールの剥離・堆積の事例が報告されており、対策が進められている。
3. 国際的な水処理技術の規格・基準に関するグローバル化への対応が必要である。