



TOHOKU
UNIVERSITY

日本原子力学会「水化学部会」
第33回定例研究会
電力中央研究所 横須賀地区

配管減肉管理に関する機械学会での 取り組みと水化学の重要性

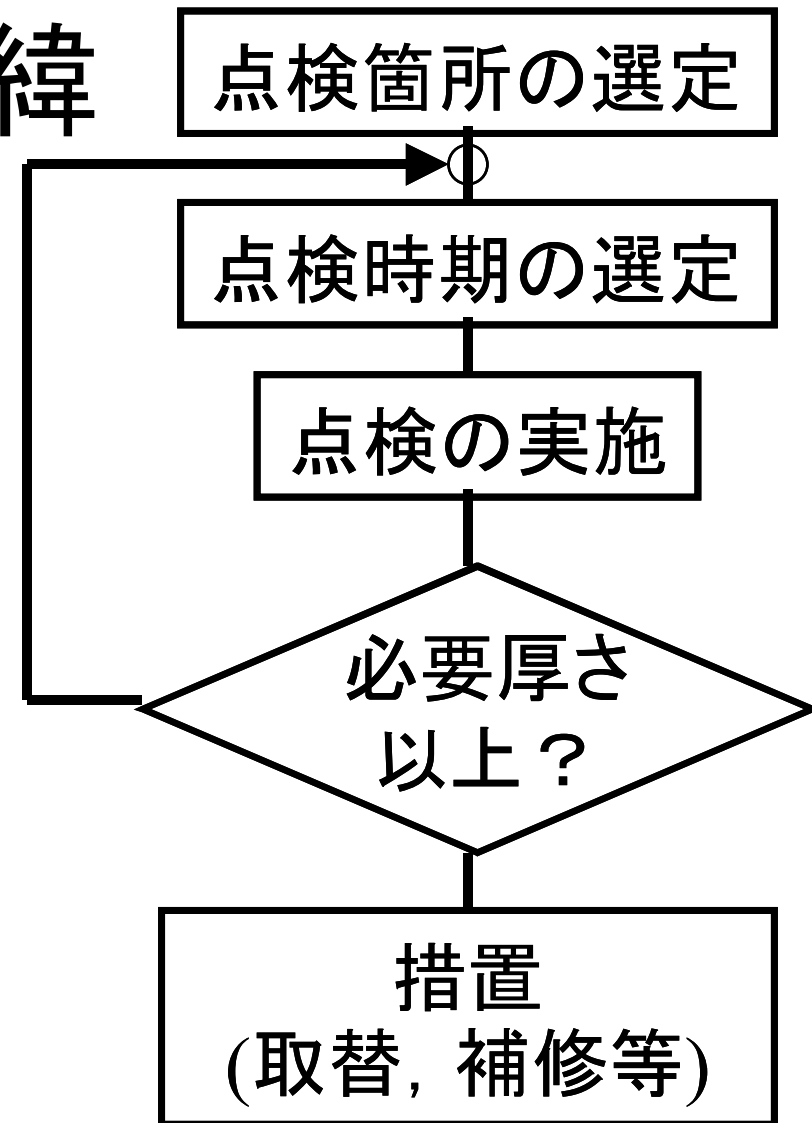
東北大学 渡邊 豊

平成30年6月19日

1. JSME配管減肉管理規格制定の経緯と分科会活動
2. 流れ加速型腐食(FAC)の特徴と水化学の重要性
3. 配管減肉管理規格の高度化の方向性

配管減肉管理の経緯

- 欧米では1970年代より関連研究が実施，日本では1986年のサリー事故以降、事業者が自主的に管理を実施
- 2004年の関西電力美浜発電所の配管破損事故を機に、日本機械学会において2007年までに、配管の肉厚測定に基づく減肉管理を規定した配管減肉管理に関する規格および技術規格を制定



日本は全面的に肉厚点検による管理

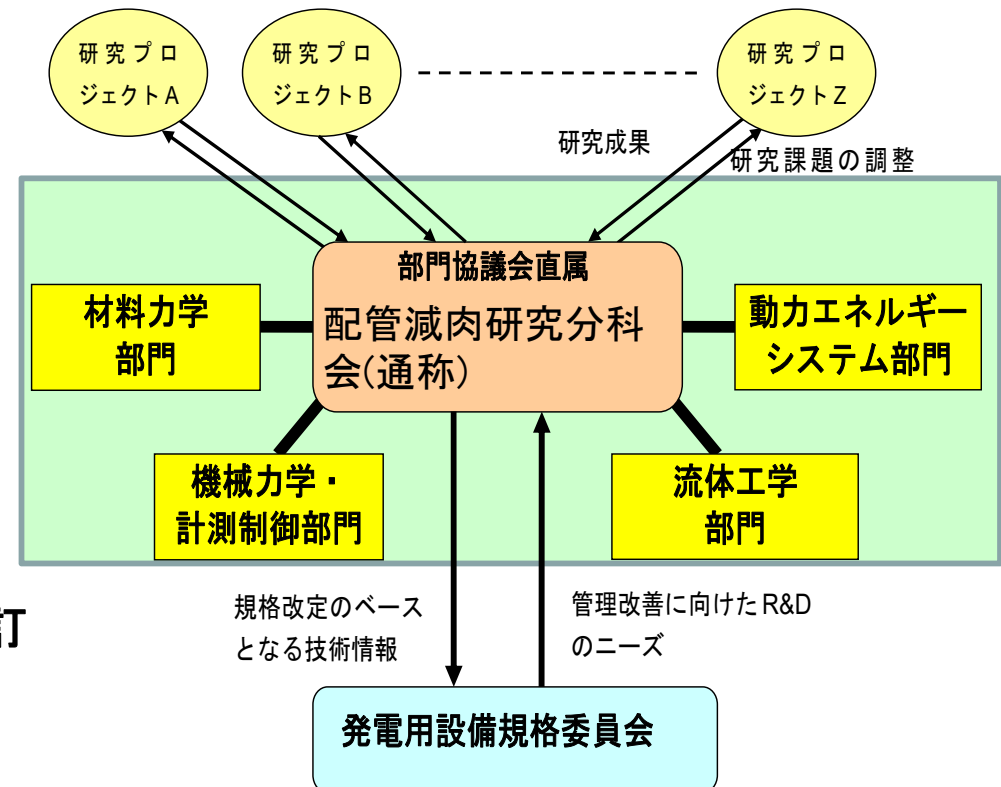
4部門横断型の研究分科会の設置

● 目的

- 技術戦略マップに基づく国内外の関連研究の最新動向調査や情報共有、さらには新知見の適用化の準備等
- 2008年より2カ年ずつ3フェーズ
- 4部門横断型の部門協議会直属研究分科会

● 分科会名称

- P-SCC II -2(2008-2009年度)
知見の収集(FAC,LDI,検査モニタリング、判断基準)
- P-SCC II -3 (2010-2011年度)
技術知見の改訂案, 検査技術
- P-SCC II -4 (2012-2013年度)
技術知見の改訂案のブラッシュアップ、
予測法ベンチマーク、技術戦略マップ改訂



一連の研究分科会活動で得られた成果

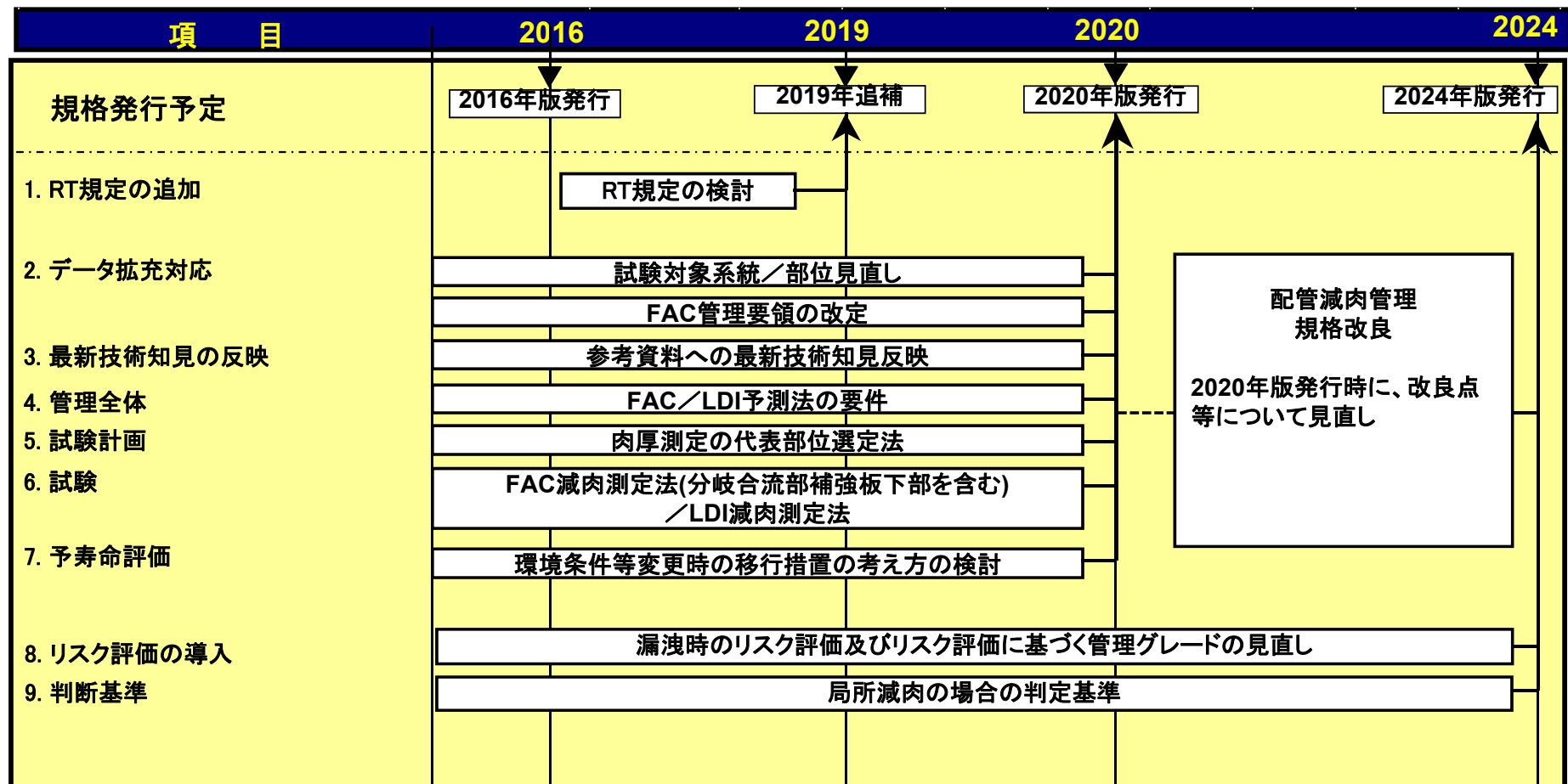
- 配管減肉は腐食と流動がからんだ複雑な現象ではあるものの、大局的に見れば個々の現象はある程度解明されていることを示したこと
- 減肉が顕著な箇所については進展予測や検査が適用でき、それに基づく措置が可能であるであることを示したこと
- それらの知見が配管減肉に関する規格とその参考資料として整理できたこと

発電用設備規格委員会の配管減肉分科会の活動と課題

- 管理規格の2016年 改訂版を発行
- 主な改訂点
 - 2006年版制定時以降の検査データを反映
 - BWR管理規格で、代表減肉率を導入
 - 分岐合流部の管理についての規定を追加
- ただし同改訂版では、予測評価法などの最新知見の導入には至っていない。

発電用設備規格委員会の配管減肉管理規格改定に向けたロードマップ

- 日本機械学会標準・規格センターの発電用設備規格委員会で策定したロードマップ



配管減肉保全管理の高度化のための 調査研究分科会の設置(主査:稲田文夫)

- 2015年4月～2018年3月
- 過去3フェーズの研究分科会における検討結果を踏まえる
- 目的
 - 減肉管理の手順に対応する、検査計画、検査手法、判断基準、設計対応などを含む配管減肉の保全管理全体に対し、関連技術知見を導入した高度化・具体化の具体的な方策について、調査研究を行うこと

分科会の活動内容

- 配管減肉に関する最新の技術的知見の動向調査
 - 減肉現象解明と物理モデル、減肉予測手法・コード、検査モニタリング手法、局所減肉・耐震を考慮した判断基準、リスクベースを含む管理 等
- 最新技術的知見の導入による配管減肉管理規格改訂に向けた具体策の検討
 - 減肉予測手法・コード、検査モニタリング手法 等

報告書目次

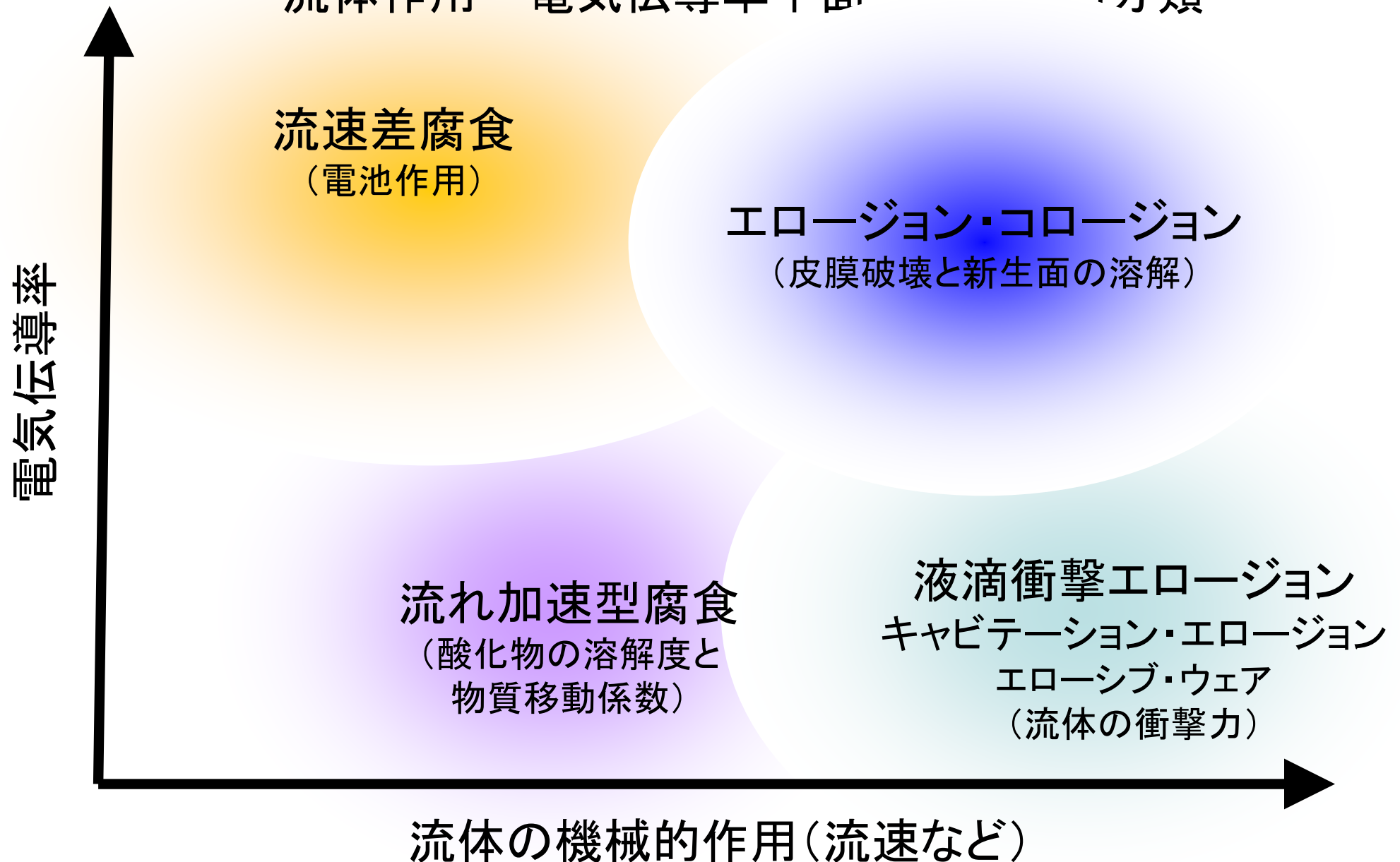
- 1 配管減肉予測に関する技術的知見の現状
 - 1.1 流れ加速型腐食(FAC)
 - 1.2 液滴衝撃エロージョン(LDI)
- 2 配管減肉予測手法の規格化方針の検討
- 3 配管減肉の検査・モニタリング手法の現状と新技術の適用性検討
 - 3.1 配管減肉検査の現状
 - 3.2 新たな検査・モニタリング技術
 - 3.3 新たな検査技術の適用に関する検討
- 4 漏洩リスク評価に関する既存規格調査と導入検討
 - 4.2 関連既存規格の調査

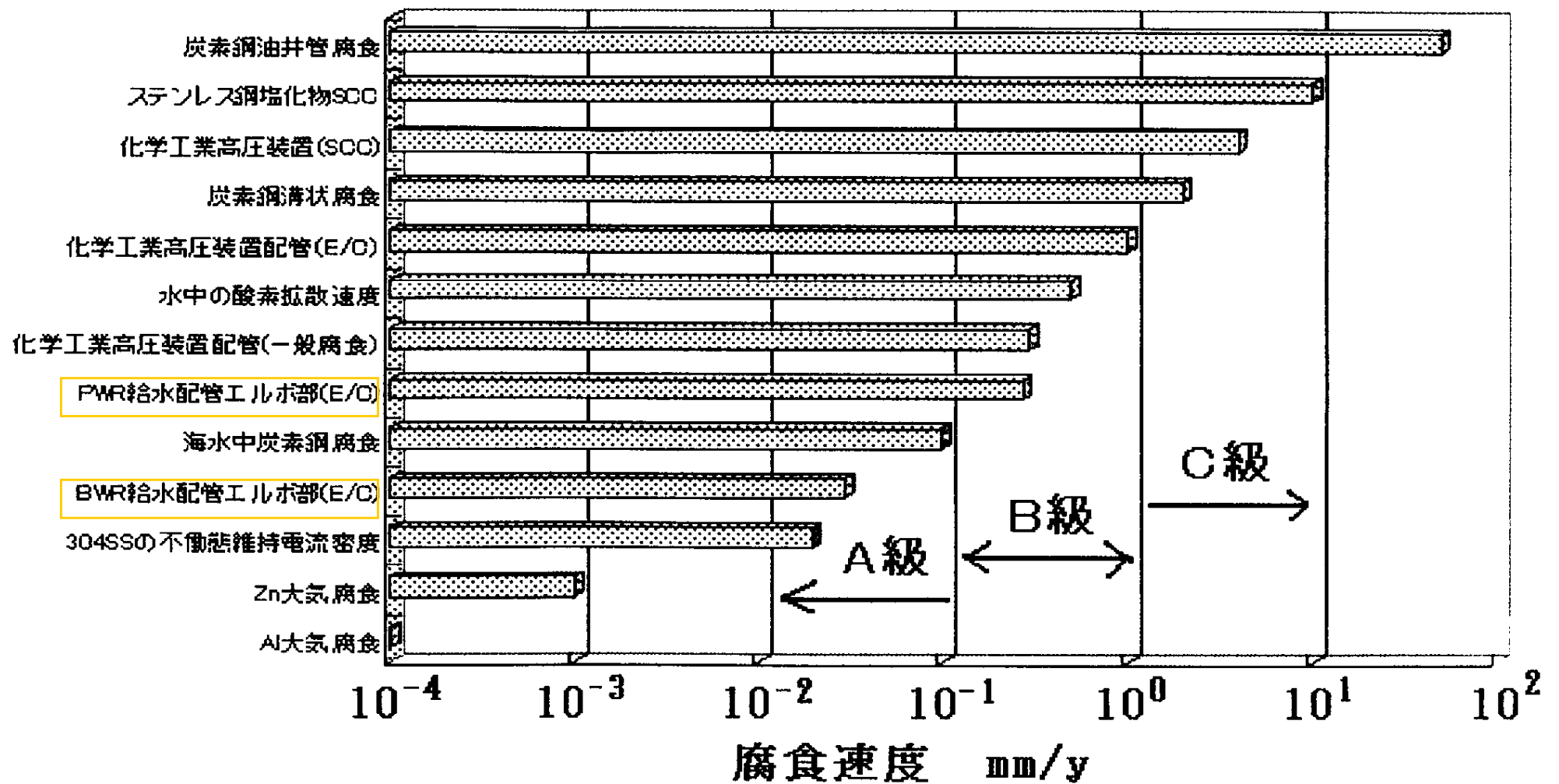
- 4.3 国内管理への導入に向けた検討
- 5 局部減肉許容基準に関する既存規格調査と導入検討
 - 5.2 国内外関連規格の概要
 - 5.3 国内管理への導入に向けた検討
- 付録A 新技術知見(国内参加機関研究)
- 付録B 国内外文献調査(抄録集)
- 付録C 国際会議FAC2016抄録集
- 付録D 予測手法導入方針整理票
- 付録E 検査技術紹介資料
- 付録F 予測手法を用いた国外管理規格関連資料
- 付録G 講演抄録集

1. JSME配管減肉管理規格制定の経緯と分科会活動
2. 流れ加速型腐食(FAC)の特徴と水化学の重要性
3. 配管減肉管理規格の高度化の方向性

配管減肉現象の俯瞰

流体作用－電気伝導率平面での機械的分類

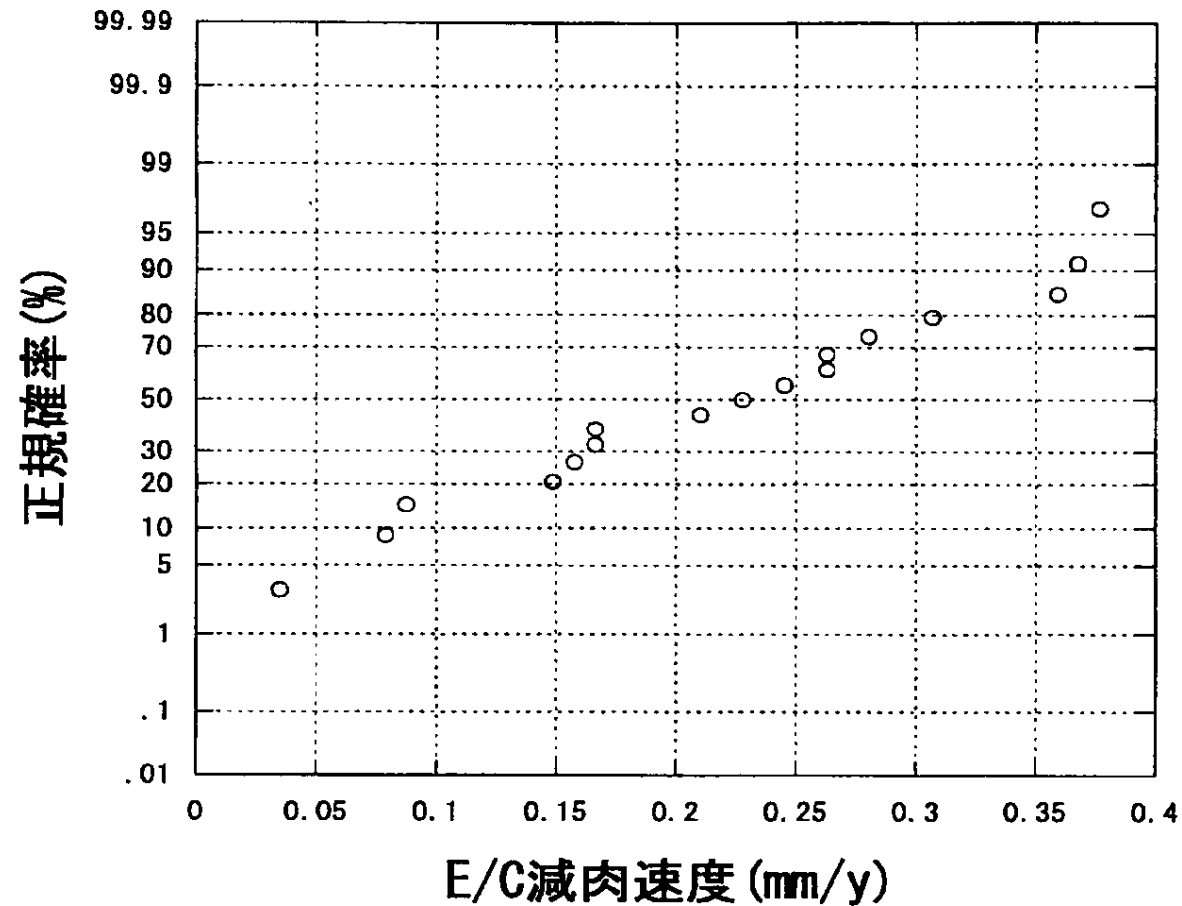




第7図 種々の腐食事例における腐食速度と腐食等級の比較

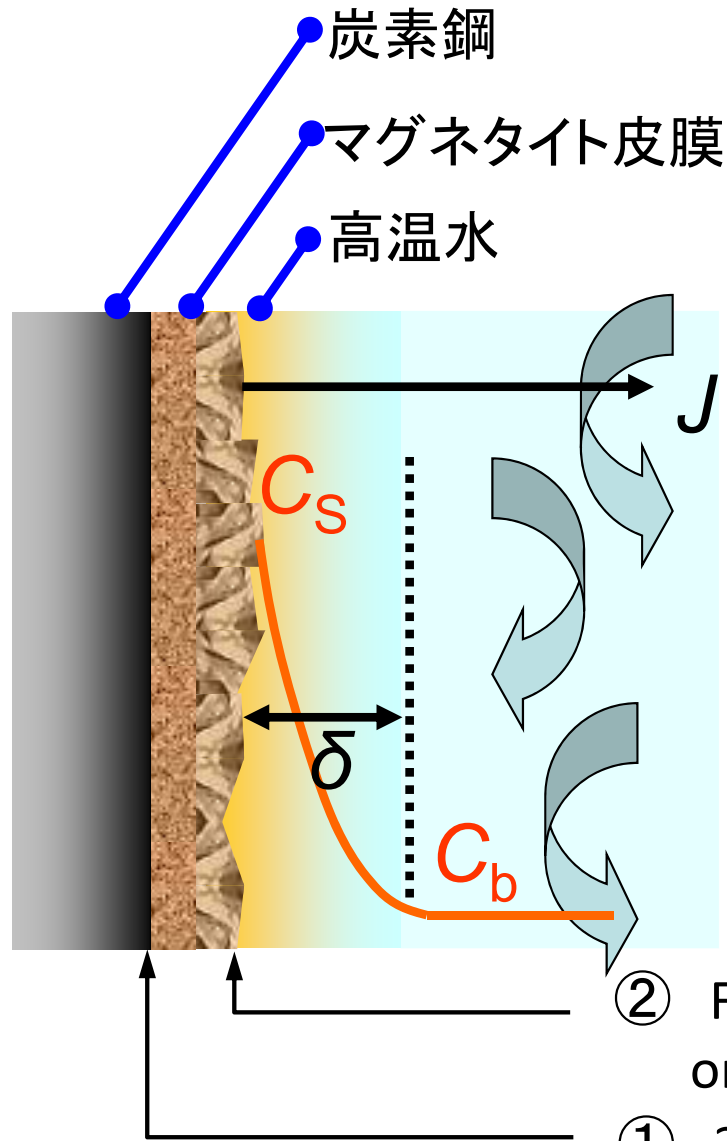
PWR配管減肉測定値(单相流)

最大値 : 0.38 mm/y
 平均値 : 0.22
 最小値 : 0.04



第6図 单相流高温水中の E/C 減肉速度の測定値の分布

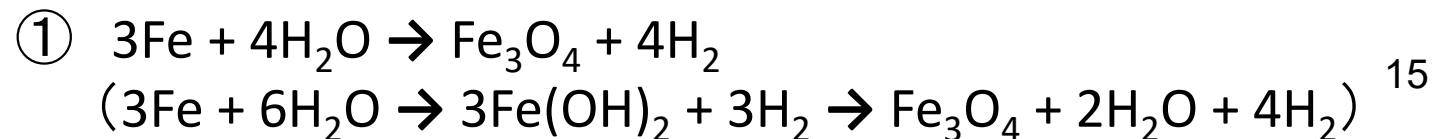
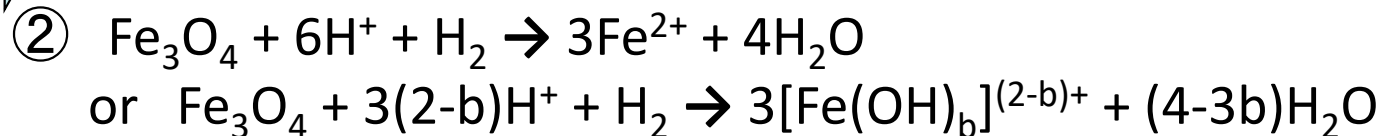
最も単純化した流れ加速型腐食(FAC) 減肉速度モデル



マグネタイト皮膜形成を経由した鉄の溶解が
流動によって加速される現象

$$J = D(C_s - C_b) / \delta_c \doteq k C_s$$

J : マグネタイトの溶解速度(減肉速度)
 C_s : マグネタイトの飽和溶解度
 C_b : バルク水中のマグネタイトの溶解濃度
 δ_c : 濃度境界層厚さ
 D : 拡散定数
 k : 物質移動係数



流れ加速型腐食(FAC)

『マグネタイト皮膜形成を経由した鉄の溶解が流動によって加速される現象』

酸化/溶解反応速度および物質移動速度により律速される

主たる影響因子

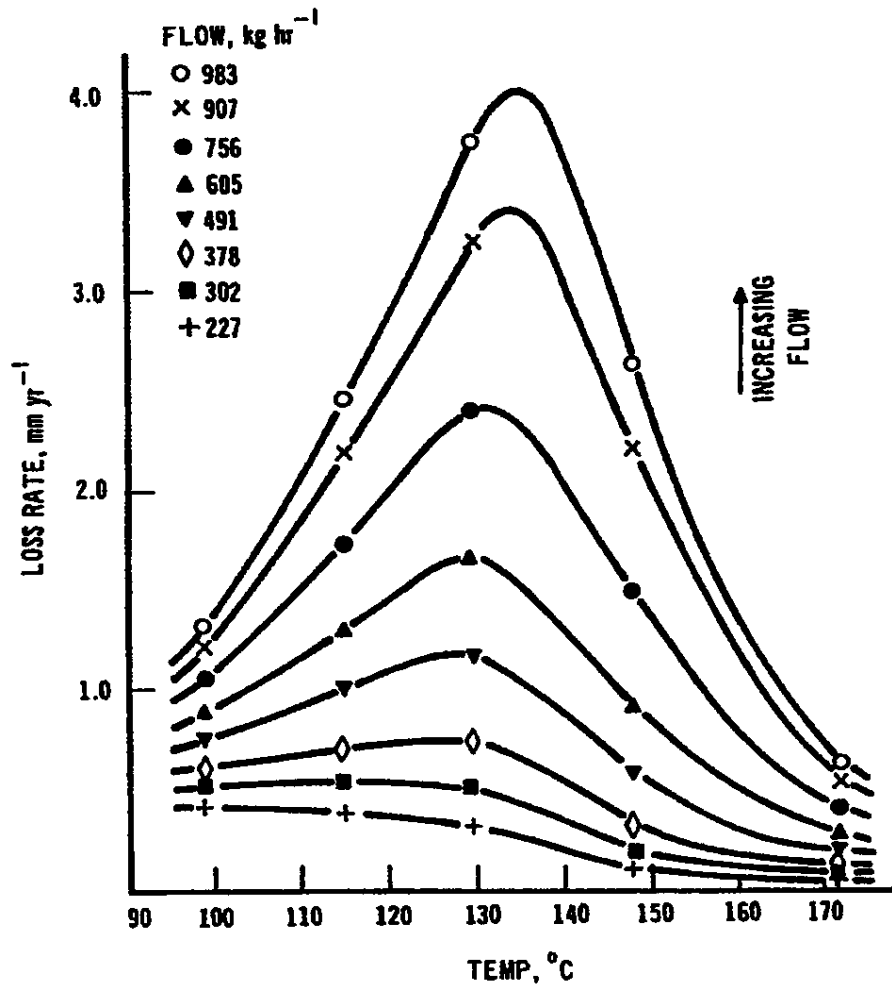
- ① 流速、配管要素形状、配管レイアウト
- ② ボイド率
- ③ 温度
- ④ pH
- ⑤ 溶存酸素濃度、溶存水素濃度
- ⑥ 鋼材成分(Cr含有量)

物質移動係数

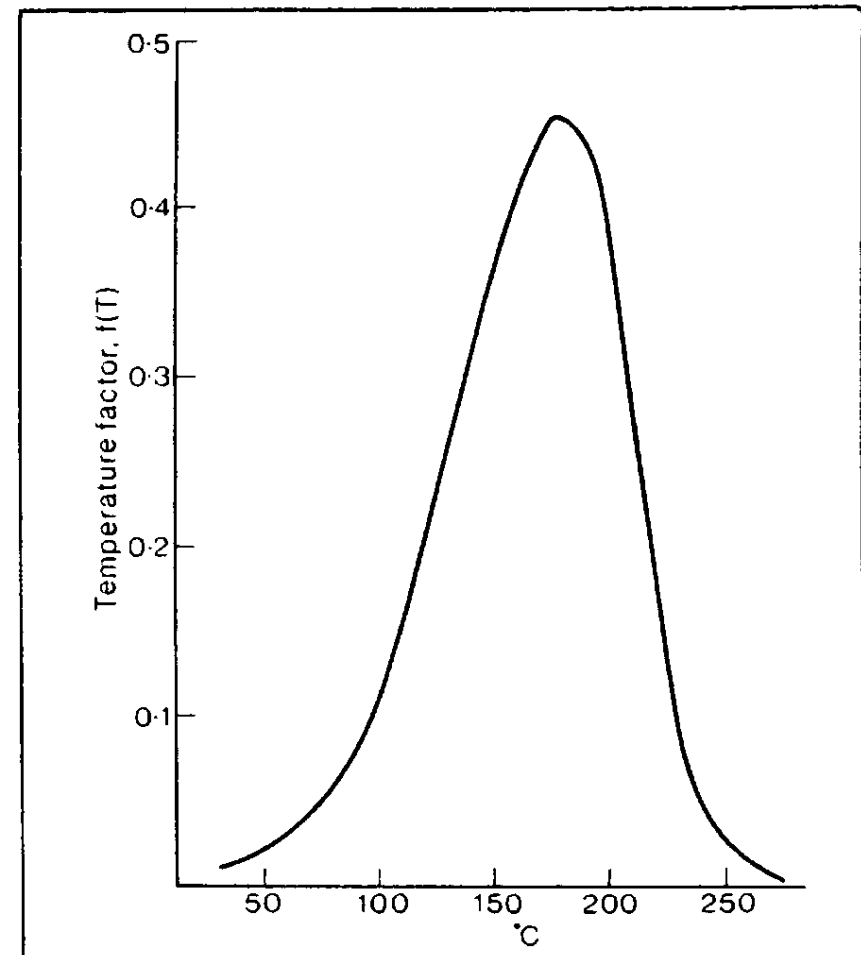
酸化物溶解度
(+反応速度)

皮膜中物質移動
(皮膜の欠陥構造)

減肉速度の温度依存性



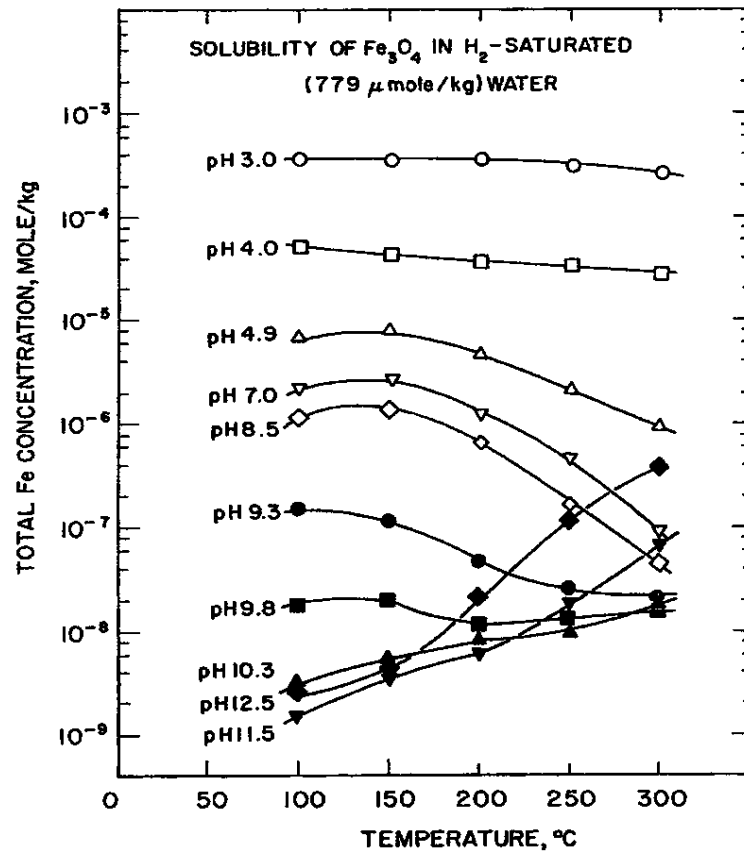
炭素鋼／单相流／pH9.05／DO<6 ppb
(G.J. Bignold et al., 1982)



炭素鋼／二相流／pH9.0
(H. Keller, VCB Kraftwerkstechnik, 1974)

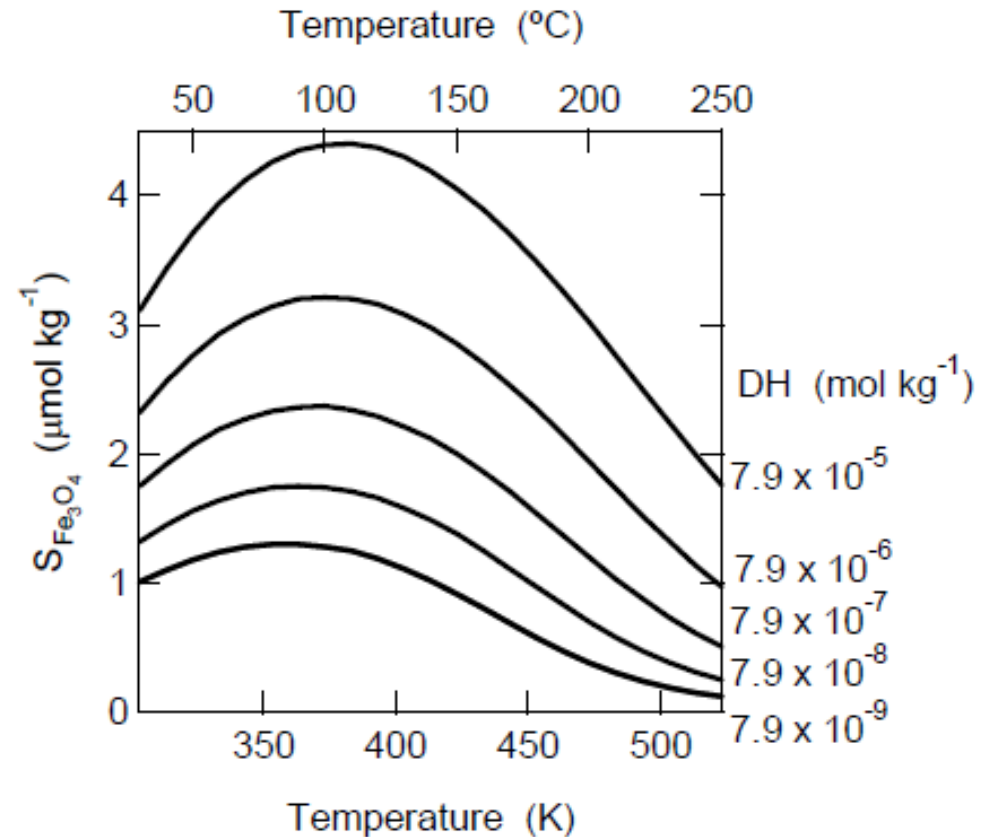
Fe₃O₄溶解度の温度依存性

pH条件による温度依存性の相違



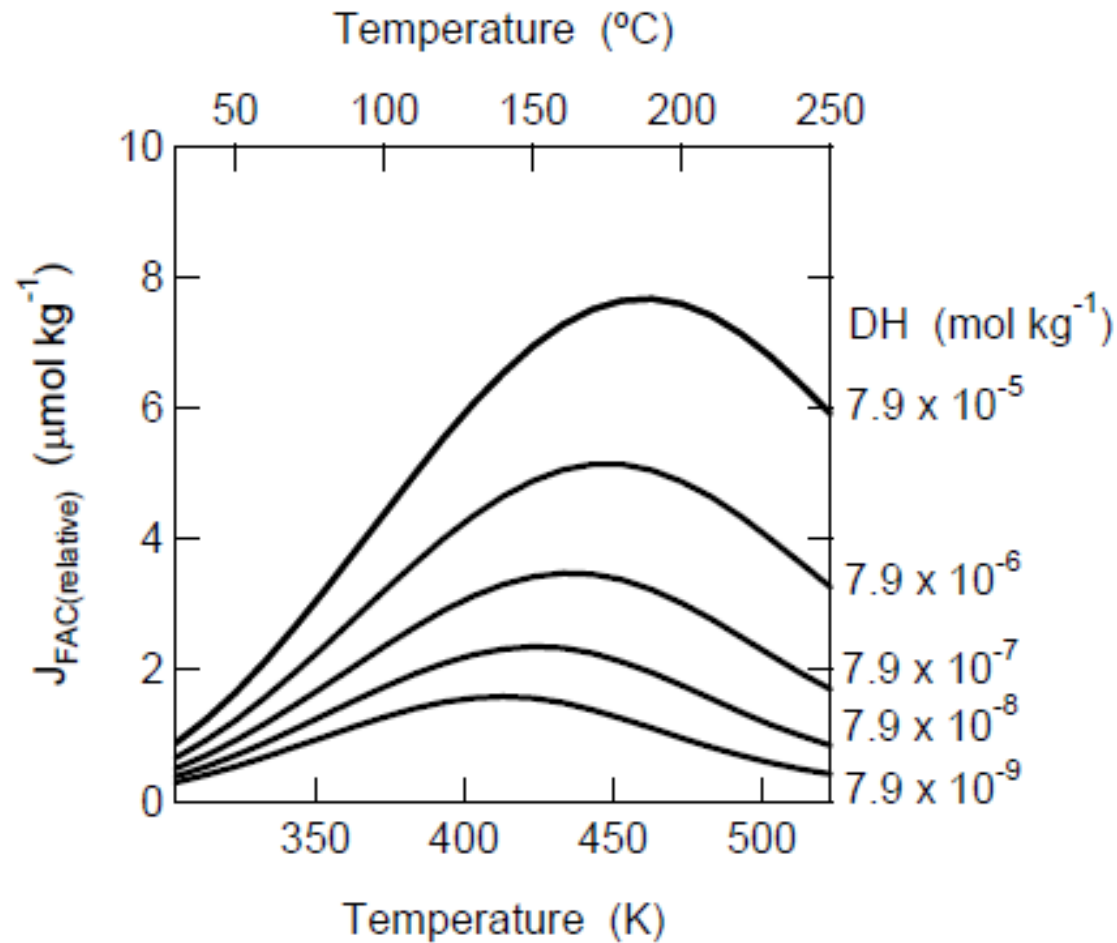
Fe₃O₄溶解度／H₂飽和純水
(P.R. Tremaine and J.C. LeBlanc, 1980)

水素分圧の影響



(K. Fujiwara, et al., 2011)

(Fe_3O_4 溶解 × 物質移動係数) により算出されるFAC速度

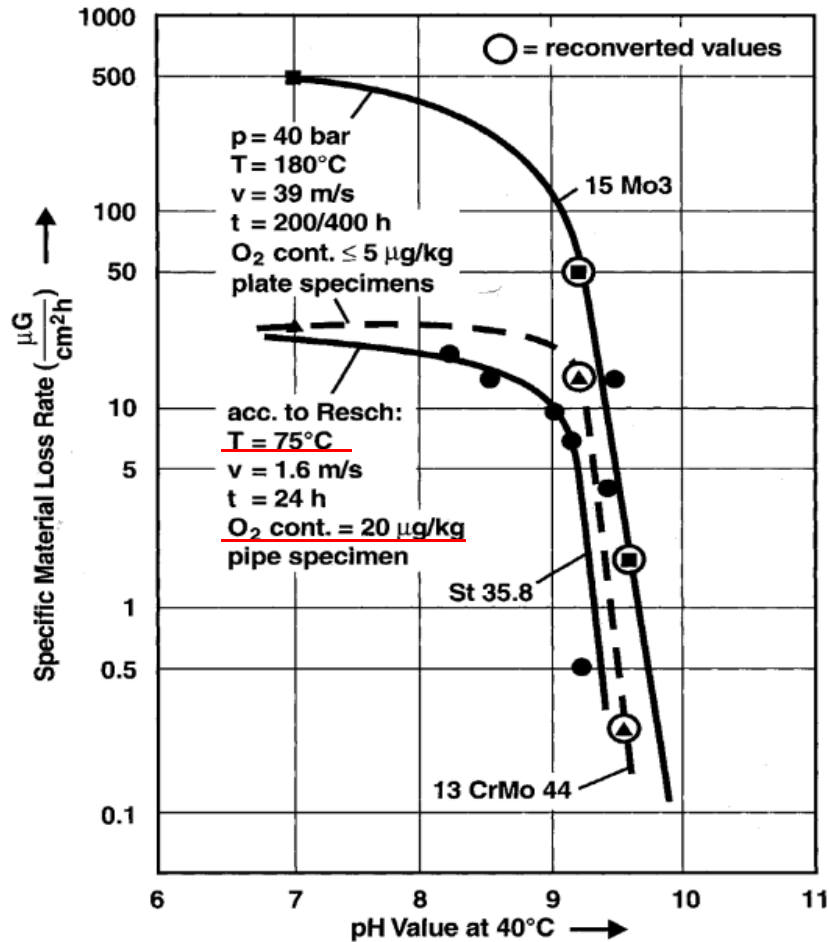


(K. Fujiwara, et al., 2011)

温度の影響のまとめ

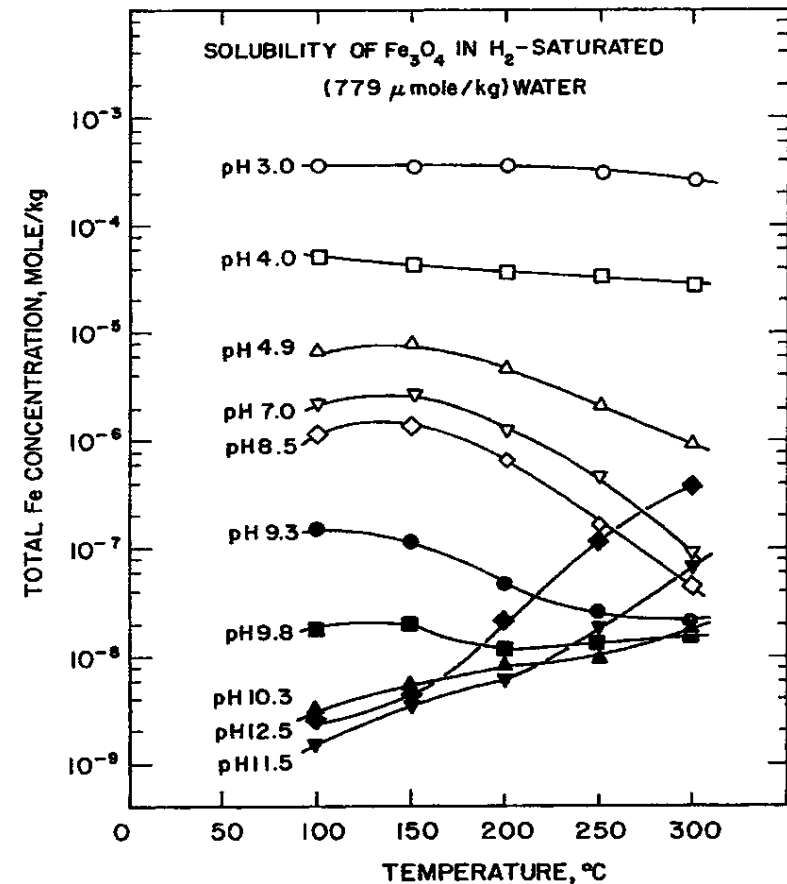
- 100°C台中盤でFAC速度が最大となる。
- マグネタイト溶解度は、中性から弱塩基性条件において、150°C以上で温度に対して負の依存性を持つ。一方で、物質移動係数は温度とともに(水の粘度の低下に伴って)増大する。これらの積として、FAC速度が最大となる温度条件が現れると理解できる。
- 高温側では酸化皮膜の空隙率が低下することも要因であるとの説がある。
- 気液二相流下においてもFAC速度が最大となる温度条件が現れるが、化学種の気液分配比率の影響など、単相流よりも要因が多く複雑である。

FAC速度のpH依存性



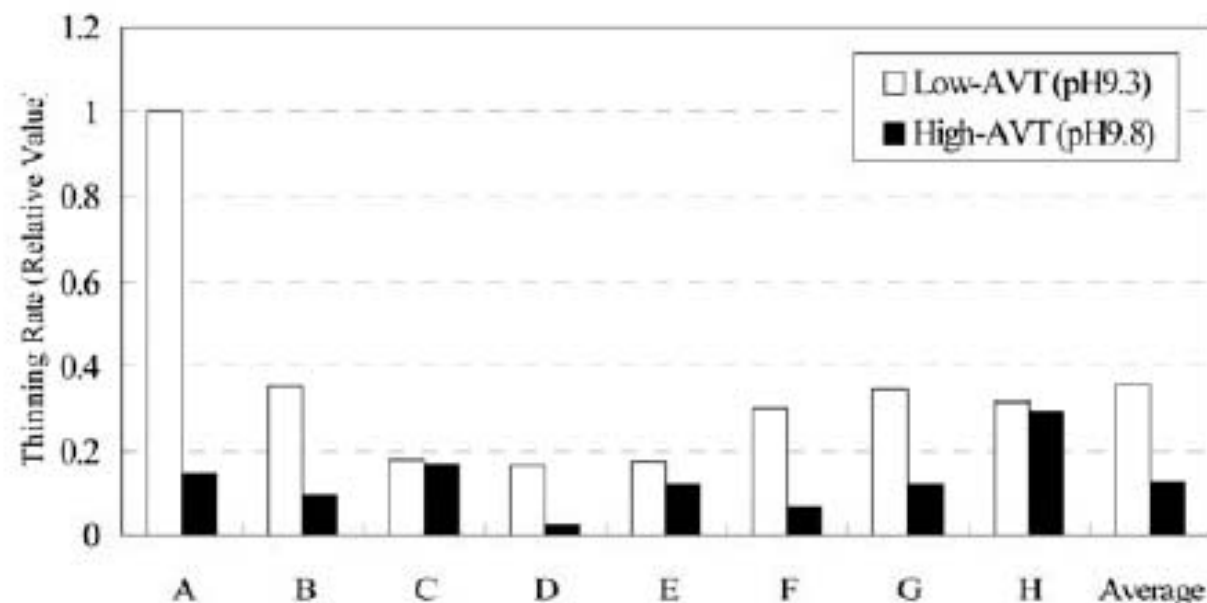
(H.G. Heitmann and W. Kastner, 1982)

Fe_3O_4 溶解度／ H_2 飽和純水



(P.R. Tremaine and J.C. LeBlanc, 1980)

高AVT(高pH)運転の効果



- 一部PWR二次系で導入(伝熱管などの銅系材料を全てチタン管などに換装して高pHに対応)
- 高AVTにより減肉速度は概ね半分以下に。ただし、一部に効果の小さい部位も(流動条件による?)

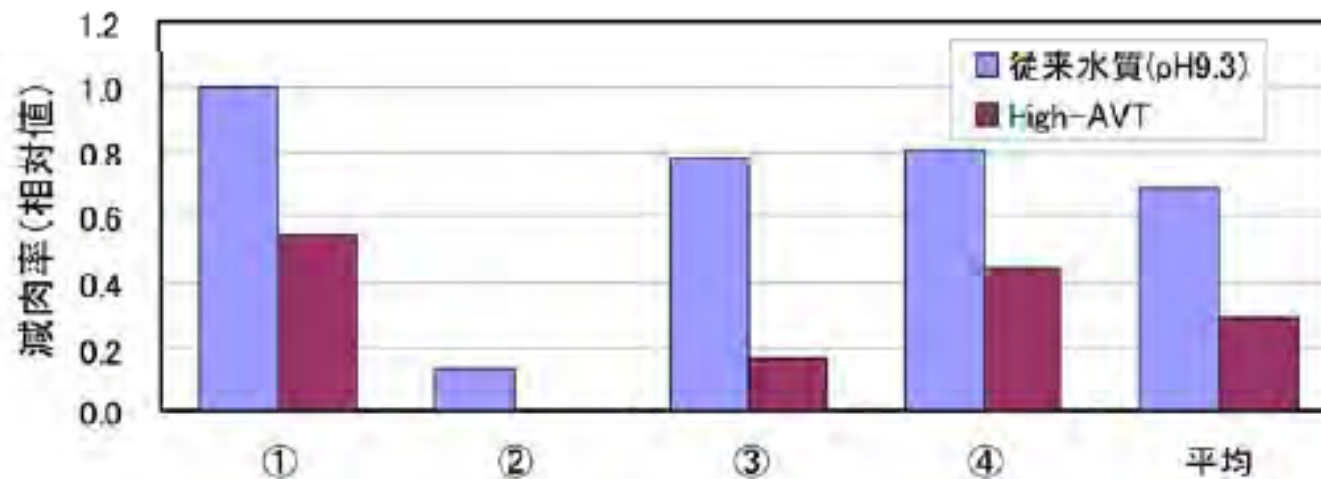
System	Location	Material	Temp. (°C)	Flow Rate (m/s)	Reynolds Number ($\times 10^4$)
A	Straight Pipe (Out of Pump)	SF50A	190	5.7	2.0
B,C	Straight Pipe (Out of Heat Exchanger)	SB42	150	3.4	0.7
D,E	Straight Pipe (Out of Heat Exchanger)	SB42	130	3.4	0.6
F	Elbow (downstream of Check Valve)	STPT38	150	3.5	0.7
G	T-shaped Pipe (Downstream of Elbow)	SB42	220	5.7	3.5
H	Elbow (downstream of Orifice)	SB42	190	2.5	0.9

(Y. Fukuda, et al., 2008)

二相流システムでの高AVTの効果

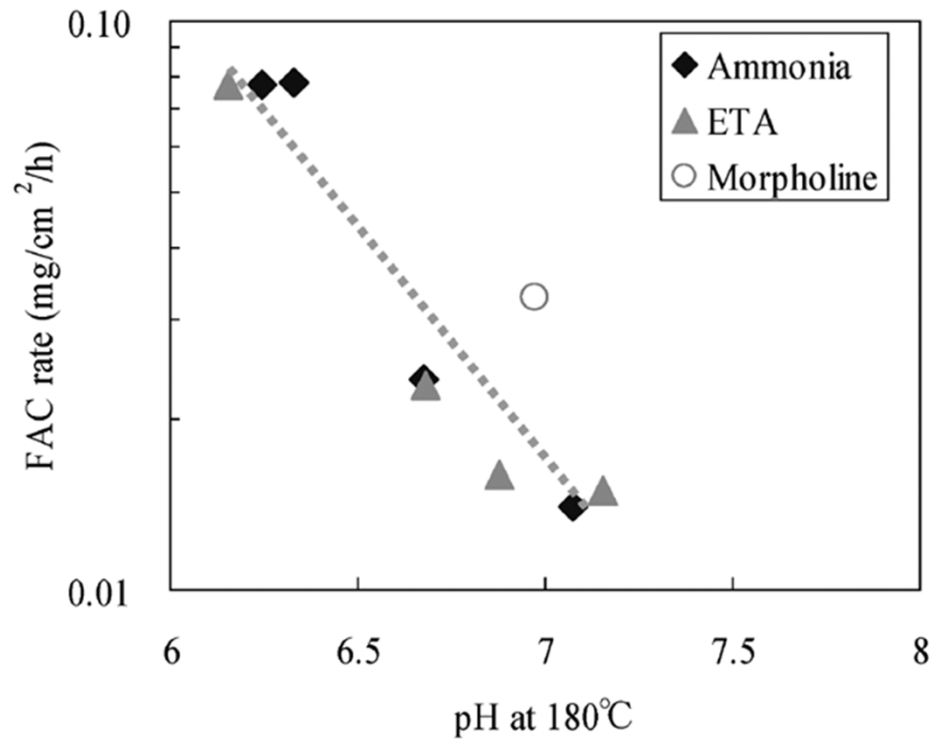
(PWR二次系、高圧タービン出口～湿分分離再加熱器に至る配管)

測定点	部 位	材 料	温度(°C)	流速(m/s)
①	直管(エルボ下流)	SB46	190	61.5
②	直管(高圧タービン出口)	SB450 SR		64.1
③	直管(エルボ下流)	SB46		61.5
④	直管	SB46		61.5

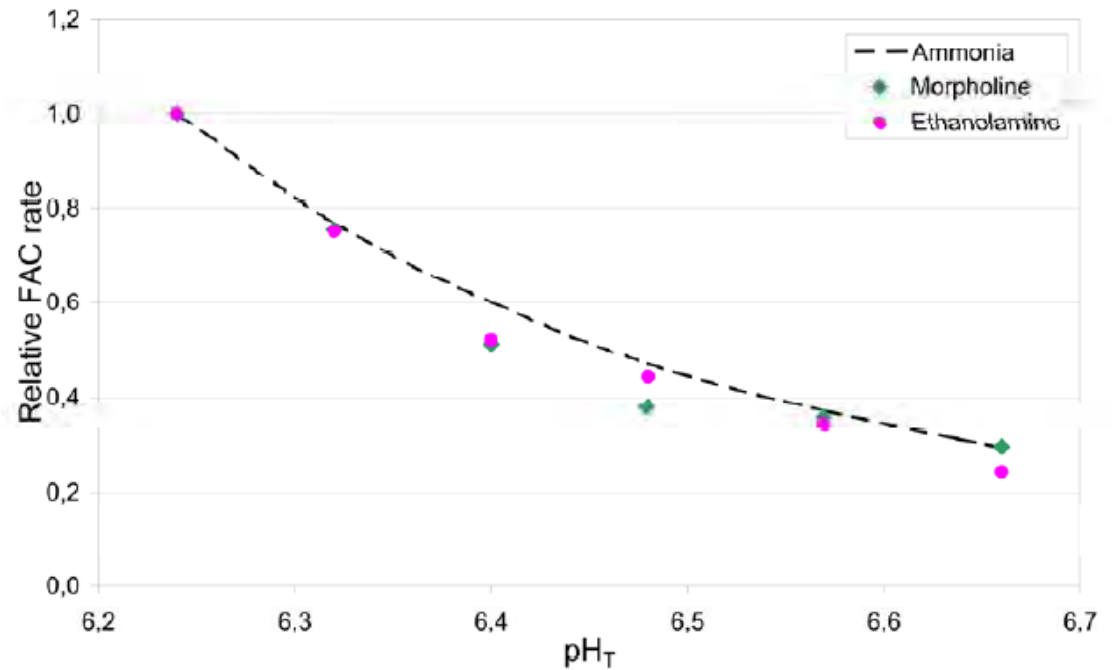


(福田ほか, 2008)

FAC速度のpH依存性 (pH調整剤の比較)



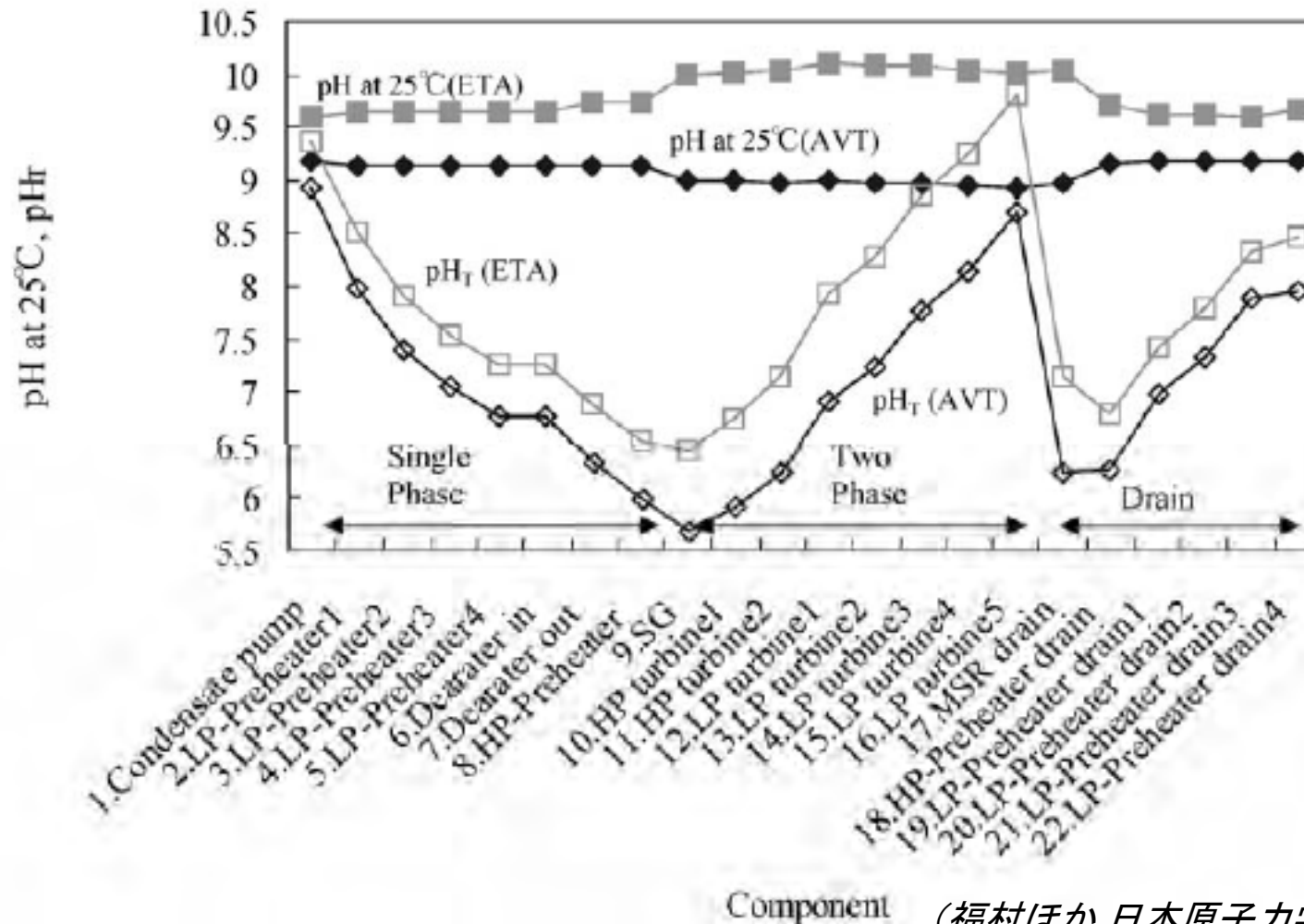
(福村ほか, 日本原子力学会和文論文誌, 2010)



(E. Pavageau, et al., FAC2008)

評価点の温度で整理することにより、pH調整剤の種類によらずほぼ統一的に評価可能

AVTとETAにおける系統各部位でのpH



(福村ほか, 日本原子力学会和文論文誌, 2010)

揮発性(気液分配比率)の相違により、二相流下ではETAのpH調整効果が高い。

pHの影響のまとめ

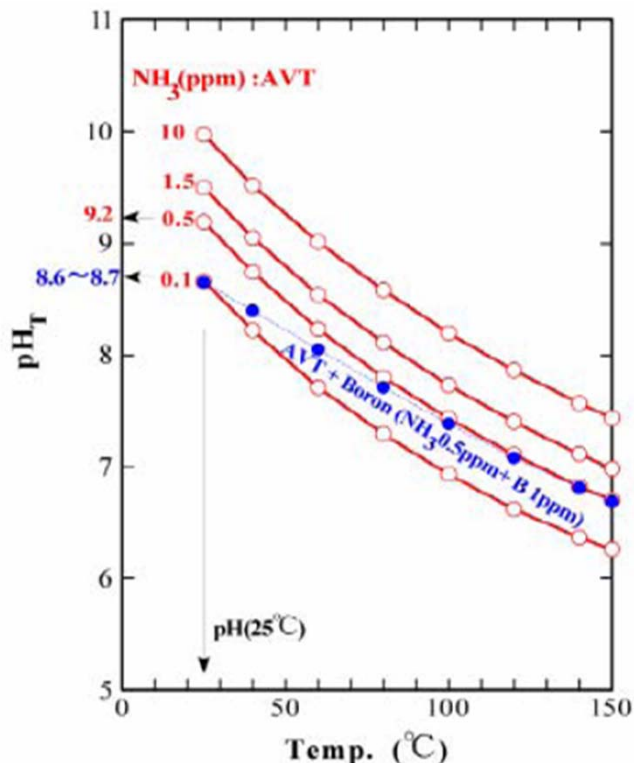
- およそpH9.2以上で、pH上昇とともにFAC速度が急減する(ただし、11付近がボトム)。
- 減肉速度のpH依存性はマグネタイト溶解度のpH依存性により理解できる。
- アンモニア、エタノールアミン、モルフォリンなどpH調整剤の種類に関わらず、そのFAC抑制効果は評価点の温度で整理することによりほぼ統一的に評価可能。
- ただし、揮発性の低いpH調整剤ほど、気液分配比率上、二相流下での液膜の高pH維持には有利。
- 高AVT運転が一部で導入され、効果をあげている。また、一部PWR二次系においてETA処理が導入されている。

FAC水質管理上の課題の例：pH管理@PWR2次系

- 日本での実機pHの管理幅は公称9.1～9.3(常温値)。
- 実際にFACが起きている温度でのpHが重要(溶質毎に解離定数の温度依存性が異なる)であるにもかかわらず、現状は室温pHでの議論(左図、中央図)。
- pH依存性の根拠データも不十分(右図)

常温ではAVTのほうが高pH。しかし、140℃では同じ【鶴田の指摘】

	pH at 25℃	pH at 140℃
AVT(0.5ppm NH ₃)	9.2	6.8
AVT+ホウ酸 (0.5ppm NH ₃ +1ppm B)	8.6 – 8.7	6.8



CANDU炉Feeder管環境(LiOH水)とAVT環境(NH₃)のpH： 解離定数の変化により高温では大きく異なる【鶴田】

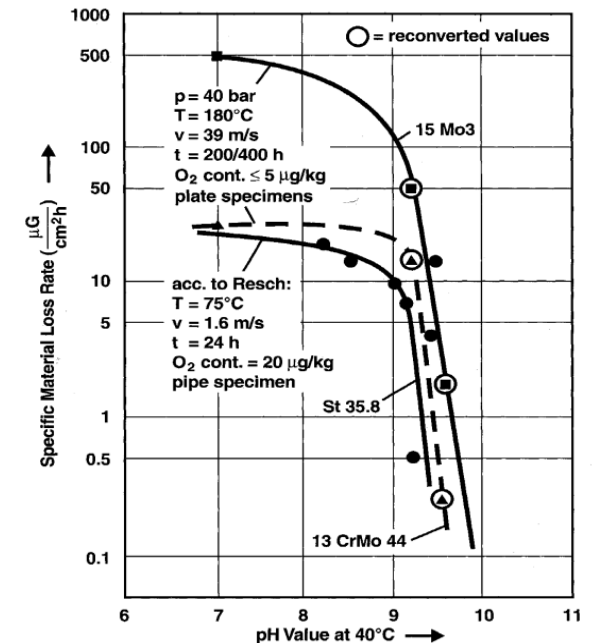
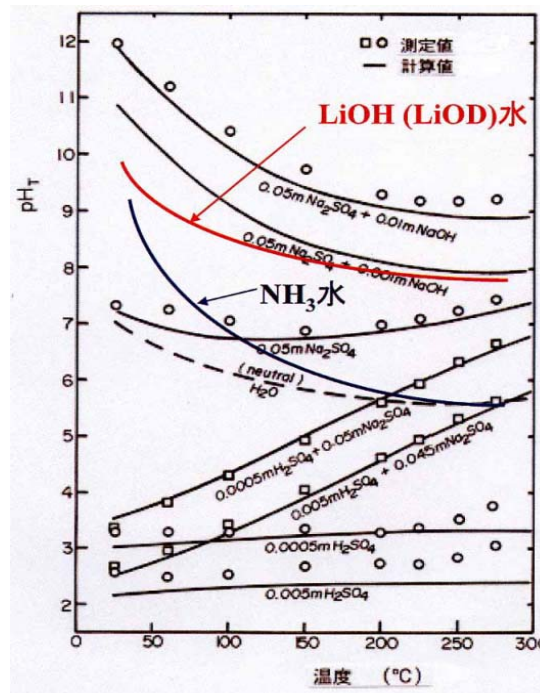
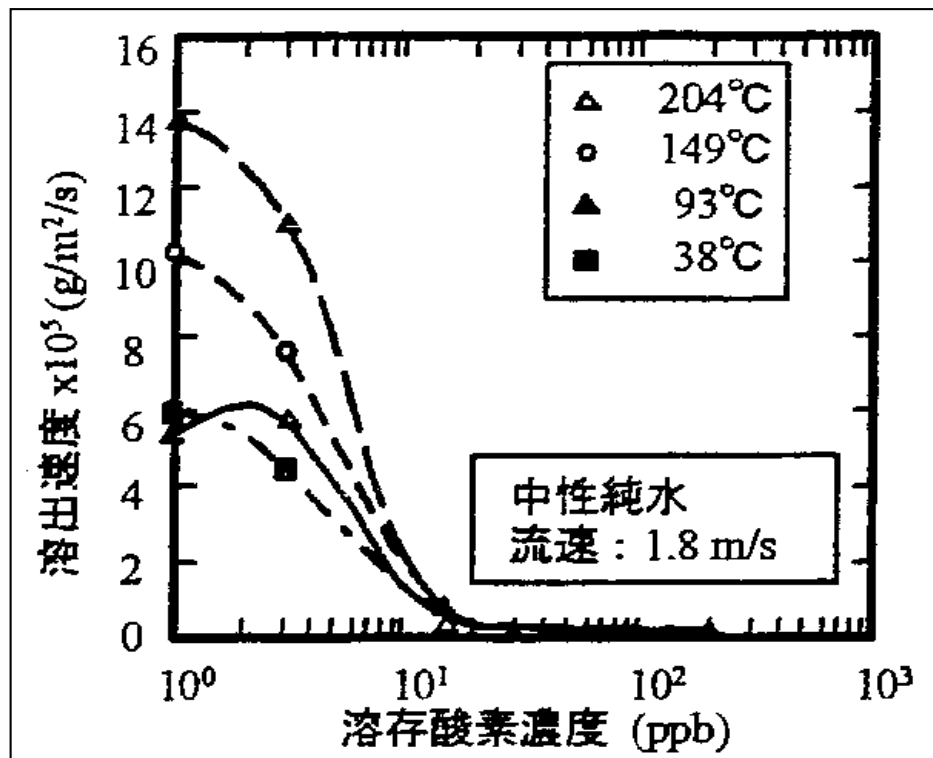


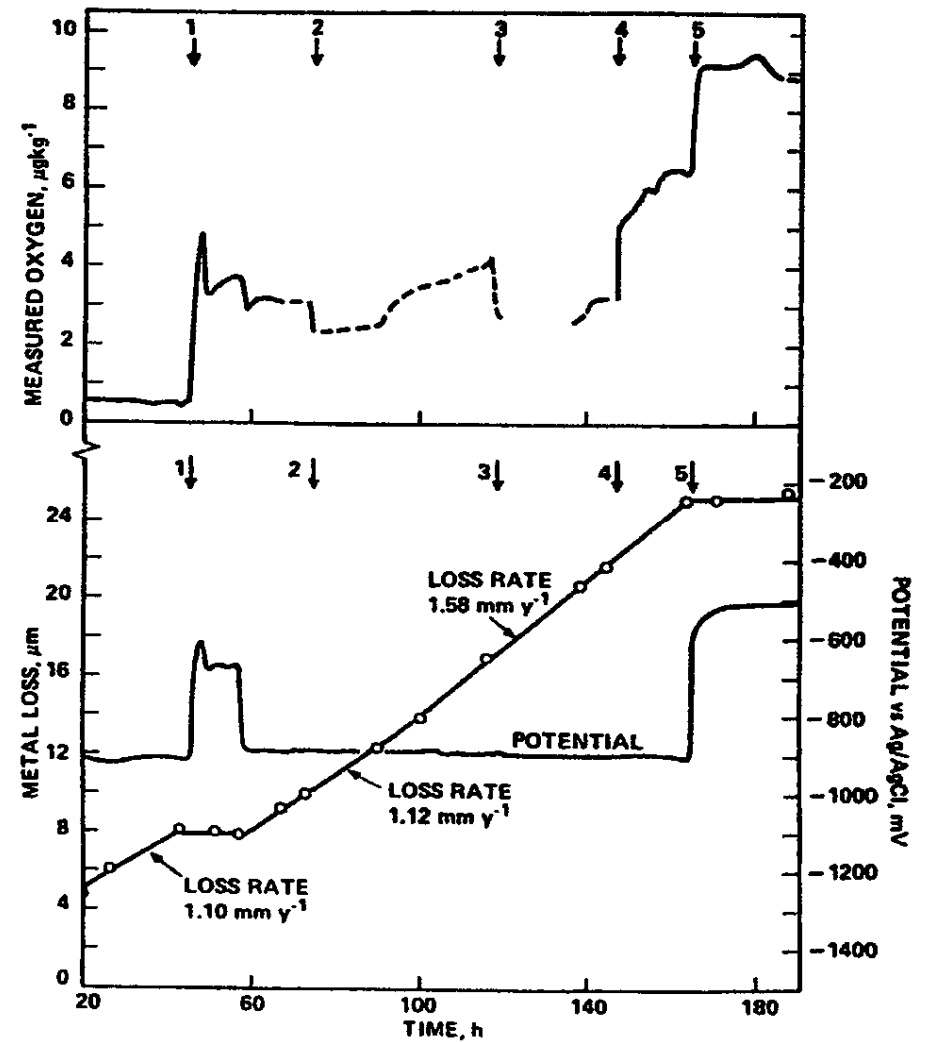
Figure 3-26. Effect of pH on the Rate of FAC for Geometry: Plant Specimens and a Pipe Specimen
(From Heitmann and Kastner [3.29])

減肉速度pH依存性に関するほぼ唯一の根拠データ：
横軸は40℃でのpH
炭素鋼は●のデータだけ(しかも75℃)。他のラインは合金鋼

溶存酸素の効果



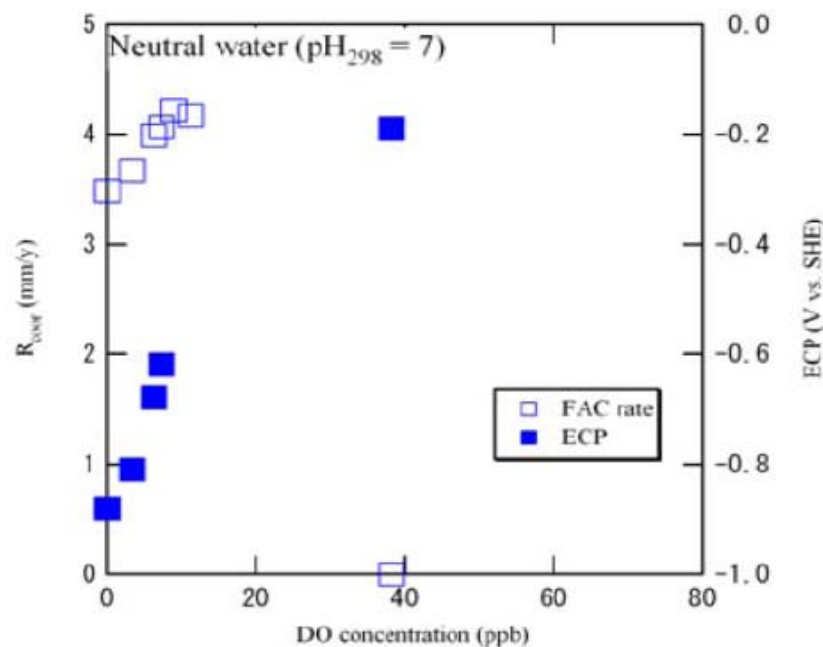
(本田卓ほか, Boshoku Gijutsu, 1988)



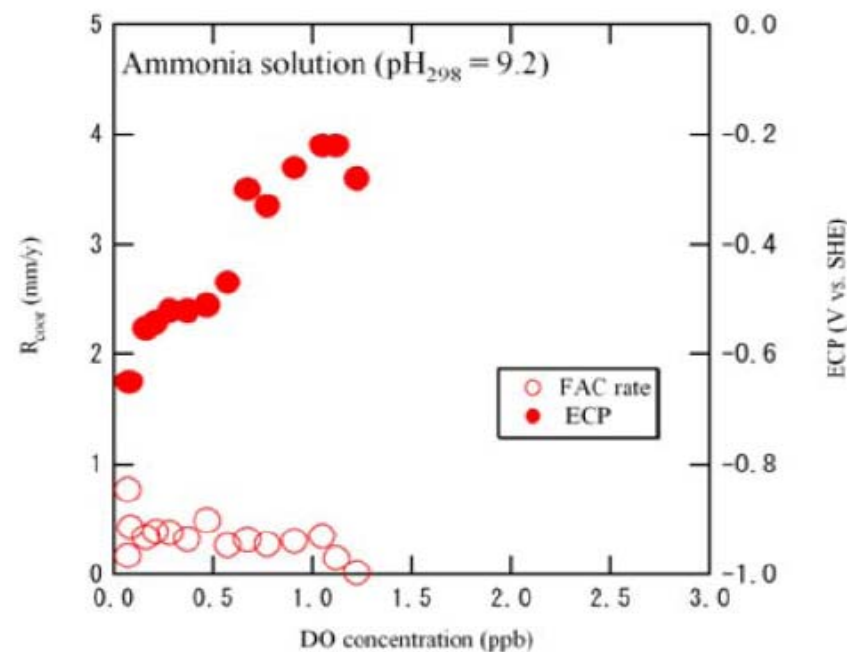
炭素鋼／150°C, pH=7.8

(I.S. Woolsey et al., 1987)

溶存酸素の効果



(a) pH: 7



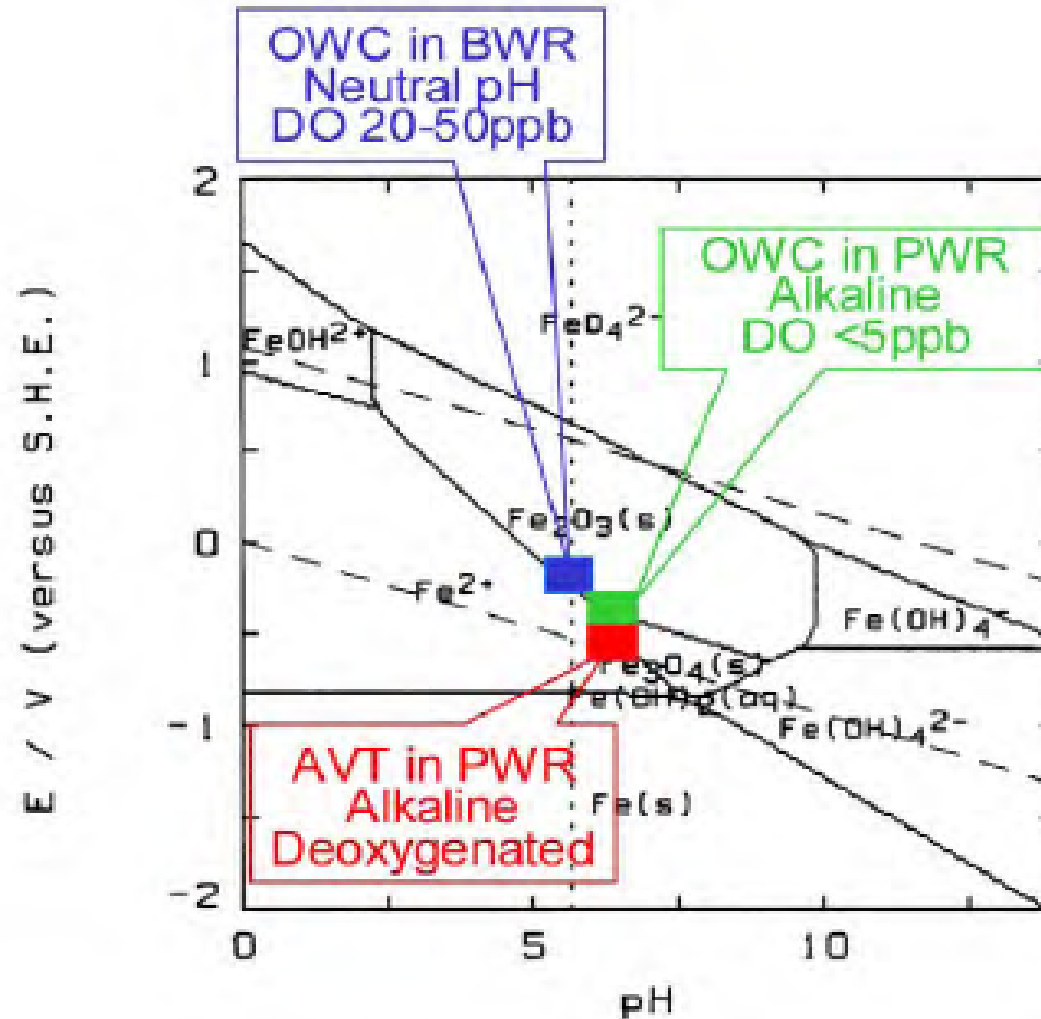
(b) pH: 9.2

図 2.5 中性純水およびアンモニア水中における溶存酸素による FAC 減肉率および ECP への影響⁽⁸⁾

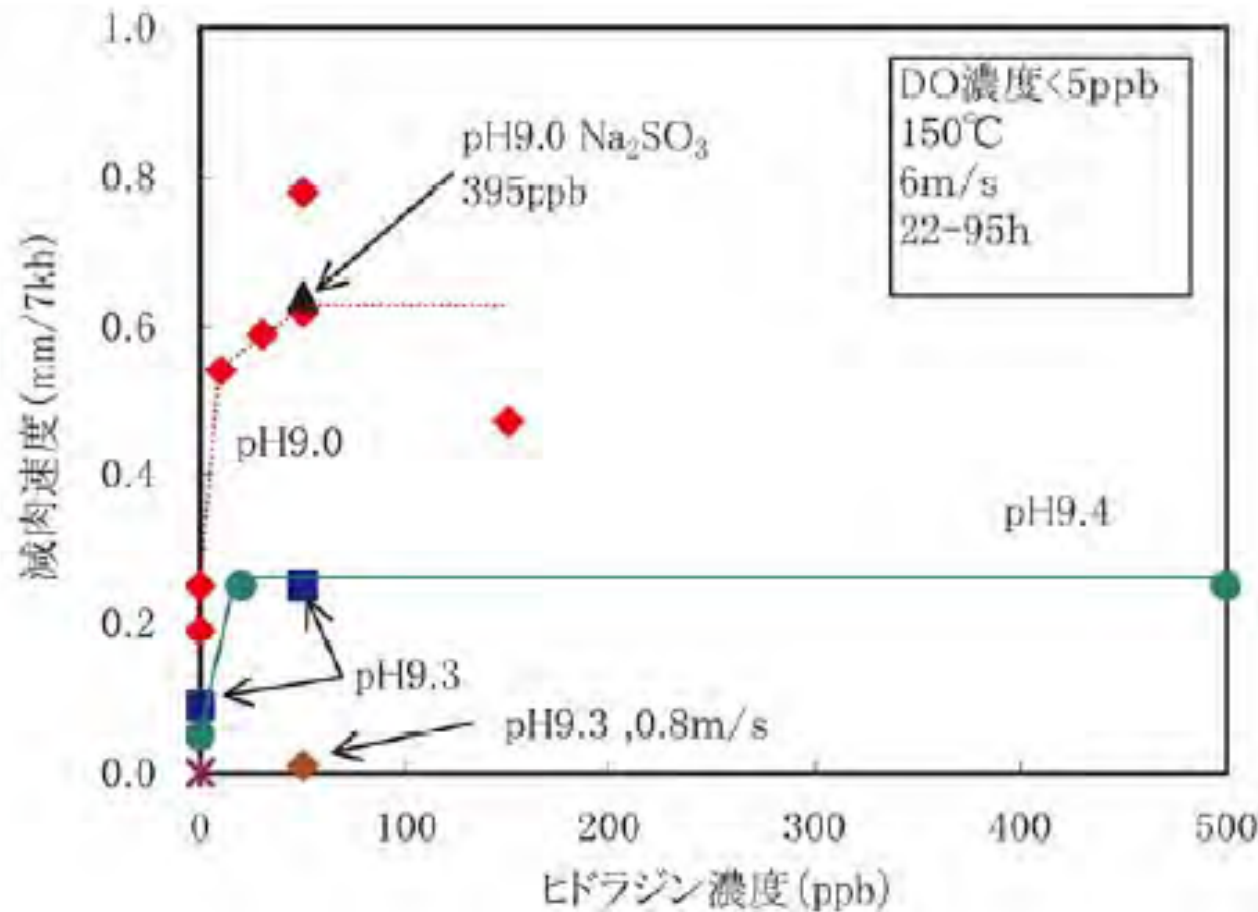
Y.Fujiwara et al. 16PBNC, Aomori, (2008)

溶存酸素効果－pH複合効果について

Fe-H₂O系電位－pH図(200°C)



ヒドラジン添加の影響

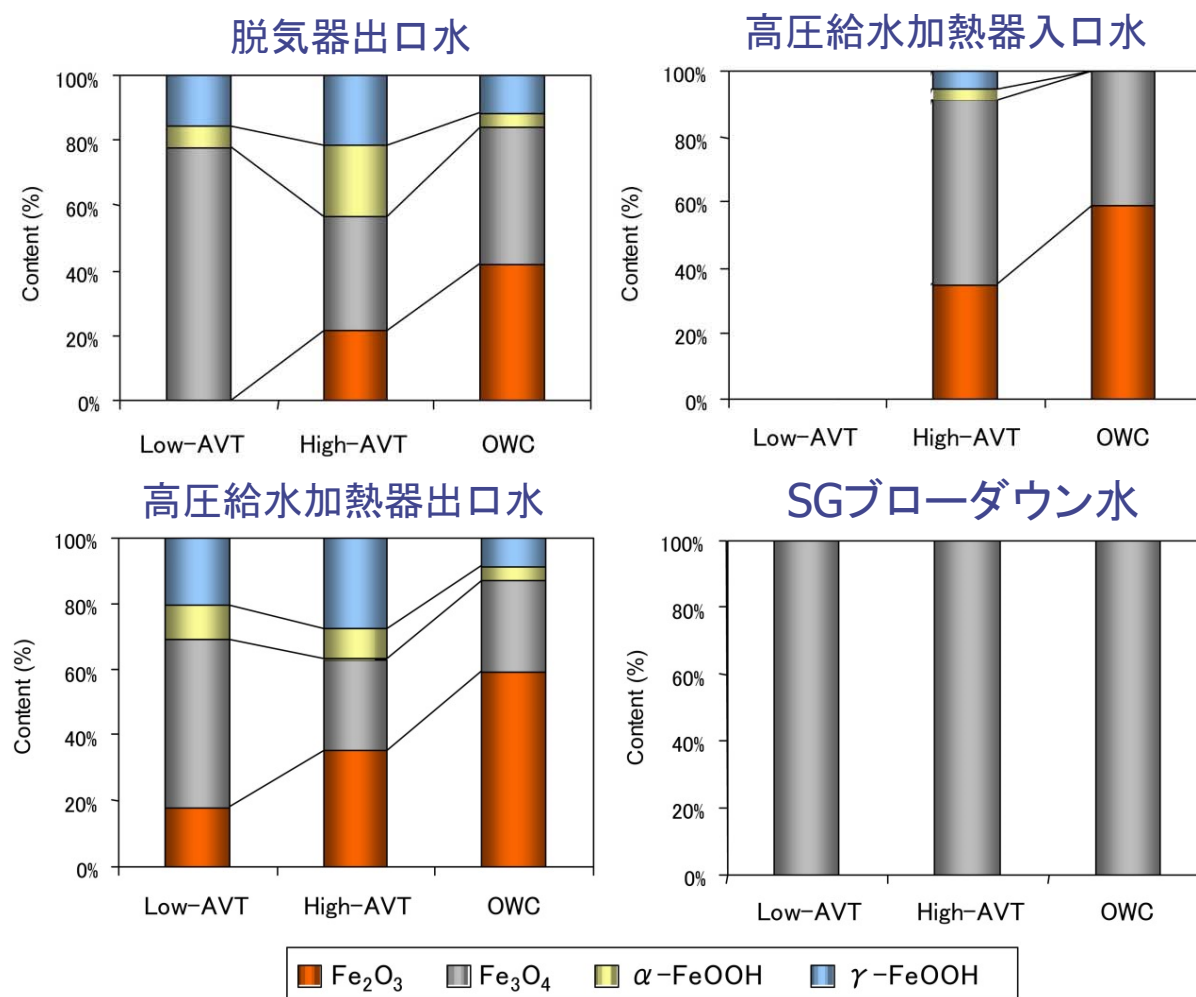


(広田ほか、2006)

N₂H₄微量添加域では酸素消費効果によりFAC速度が上昇するものの、N₂H₄添加量を増やしてもFAC速度に変化はない(ヒドラジンそのものがFACを加速する効果は認められない)。

酸素を添加した際の酸化物の形態変化

- 酸素によるFACの抑制効果：酸化物の形態がマグネタイト(Fe_3O_4)から溶解度の小さいヘマタイト(Fe_2O_3)に変化するため。

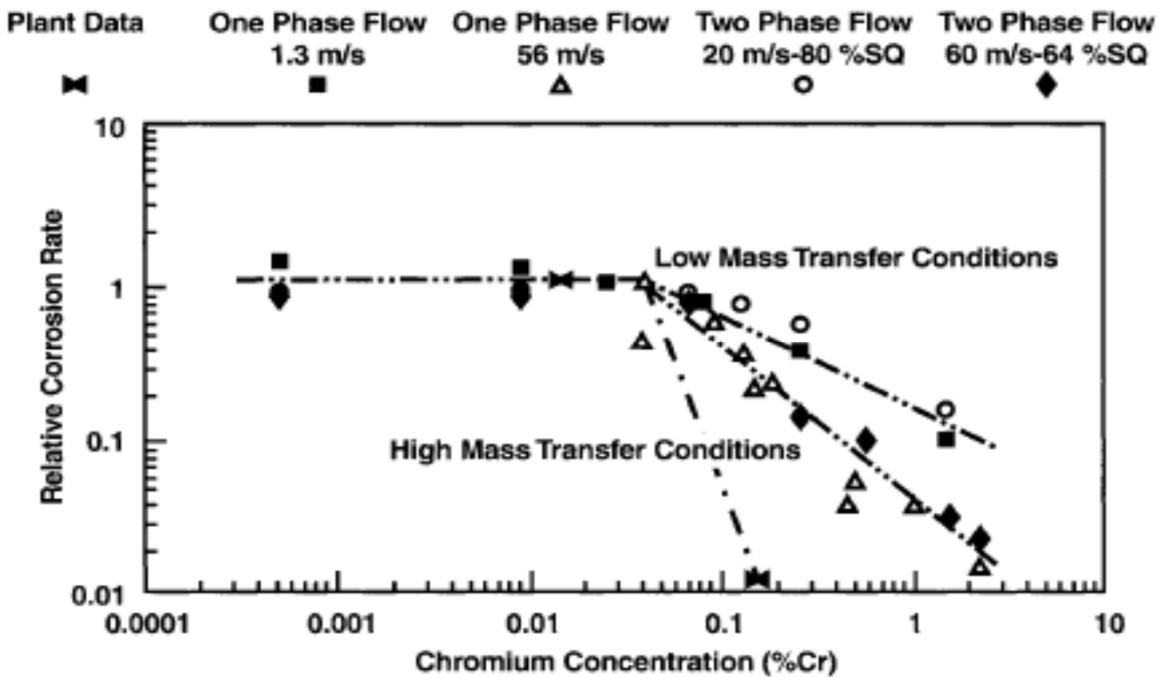


OWCは酸素注入条件(溶存酸素濃度5ppb)

溶存酸素の影響のまとめ

- 例えば中性純水中では、10ppb以上の溶存酸素下でFAC速度が急減する。
- 皮膜構成酸化物がマグネタイト(Fe_3O_4)から溶解度が桁違いに低いヘマタイト(Fe_2O_3)に変わることによって理解される。
- BWR水処理への適用： 酸素注入による給水系配管のFAC抑制 (DO管理値20～200ppb)
- PWR水処理への適用： 2011 年より一部PWR において酸素処理開始。高pH処理(pH10程度)の下で脱酸素剤(ヒドラジン)とともに5ppb程度の酸素を注入することにより、給復水系配管のFACを抑制。SG到達前に酸素は脱酸素剤によって消費されるため、SGの健全性に影響は無い。

成分(Cr含有量)依存性



(M. Bouchacourt et al., 1995)

- 対策としての有効性
- 高純度配管の危険性
- 溶金の選択的減肉(EdF事例)

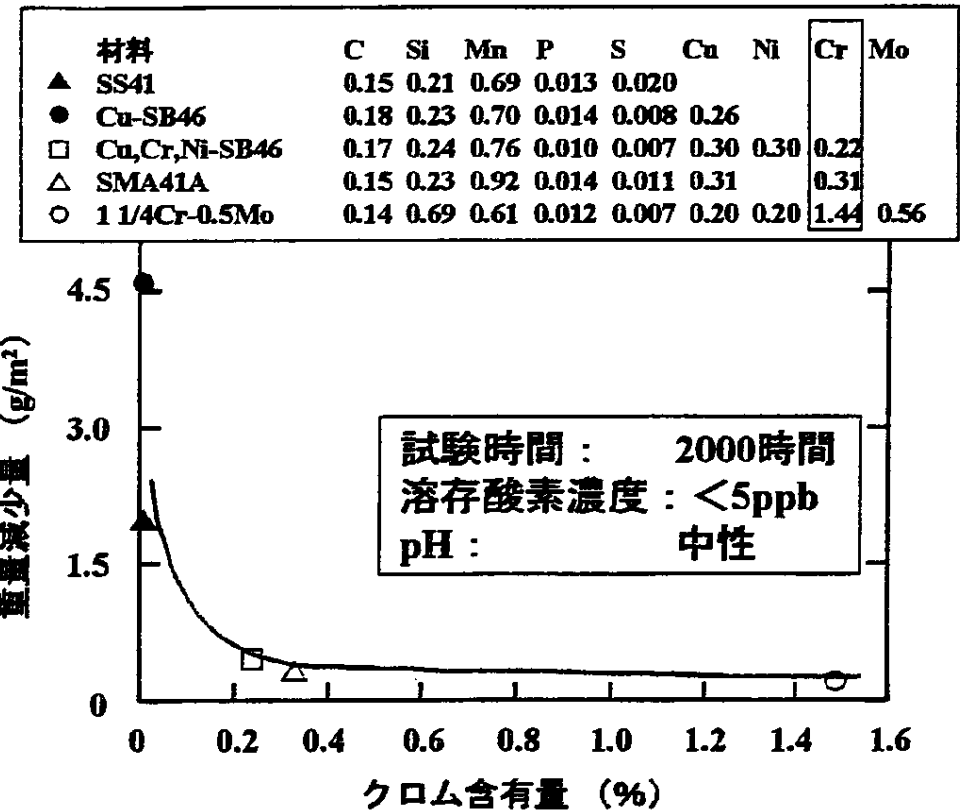


図 2.3.10 Cr 含有量と腐食量の相関⁽¹⁹⁾

鋼材成分 (Cr, Ni, Cu) の効果

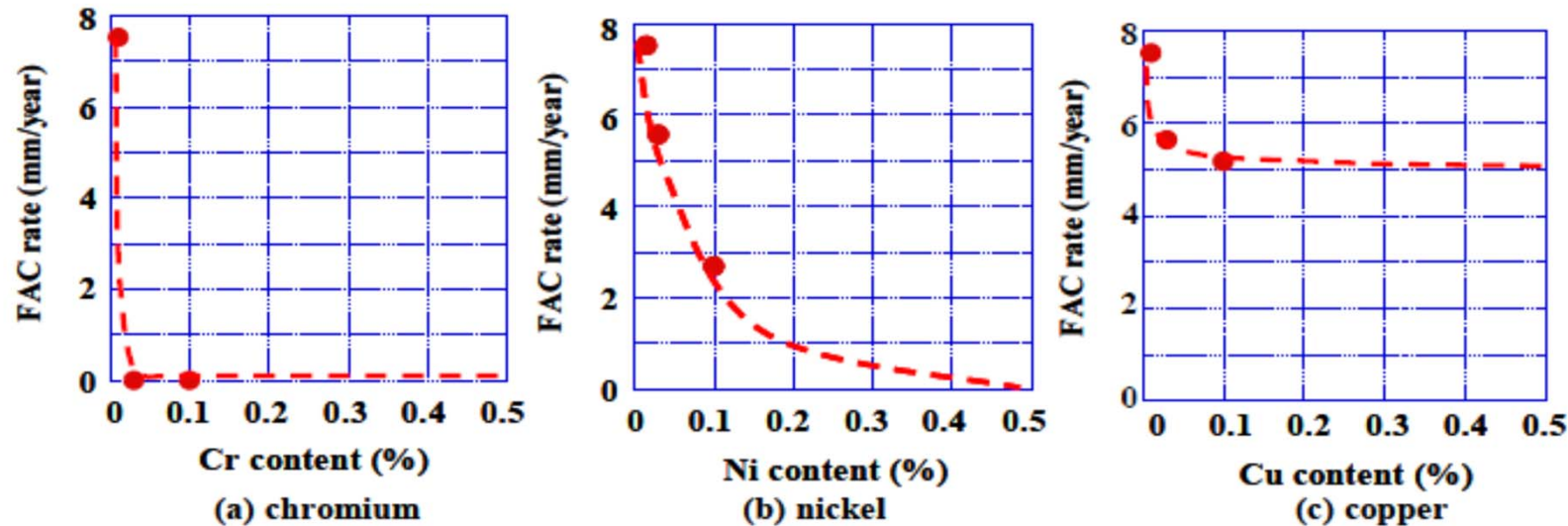


Fig. 5 Effects of added elements on the mitigation of FAC (flow velocity; 4.7 m/s)

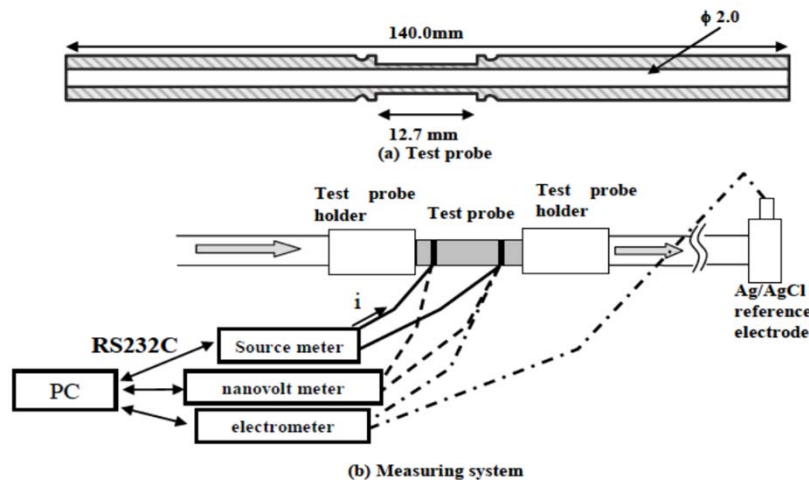


Fig.2 Schematic views of test probe and measuring system

pH (25°C)	7
temperature	150 °C
pressure	2 MPa
Conductivity (25°C)	<0.1 μ S/cm
Flow rate (25 °C)	20-90 L/h
Flow velocity	1.6-6.9 mm/s
[O ₂]	<5 ppb

Cr含有量の影響一

溶接部近傍の選択的減肉(最近のEDF事例)

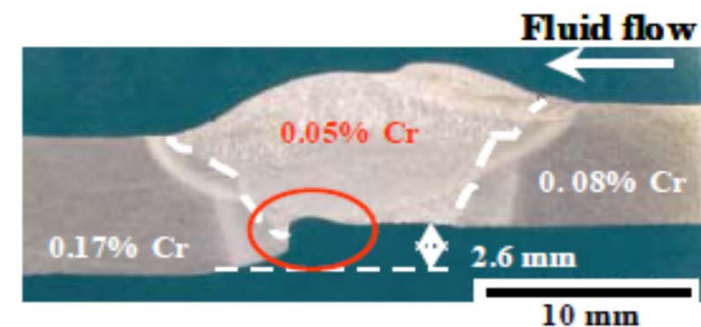
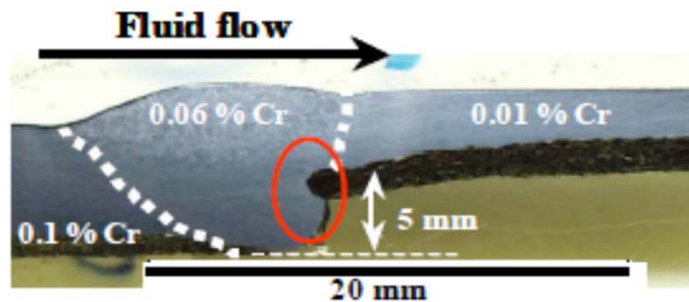
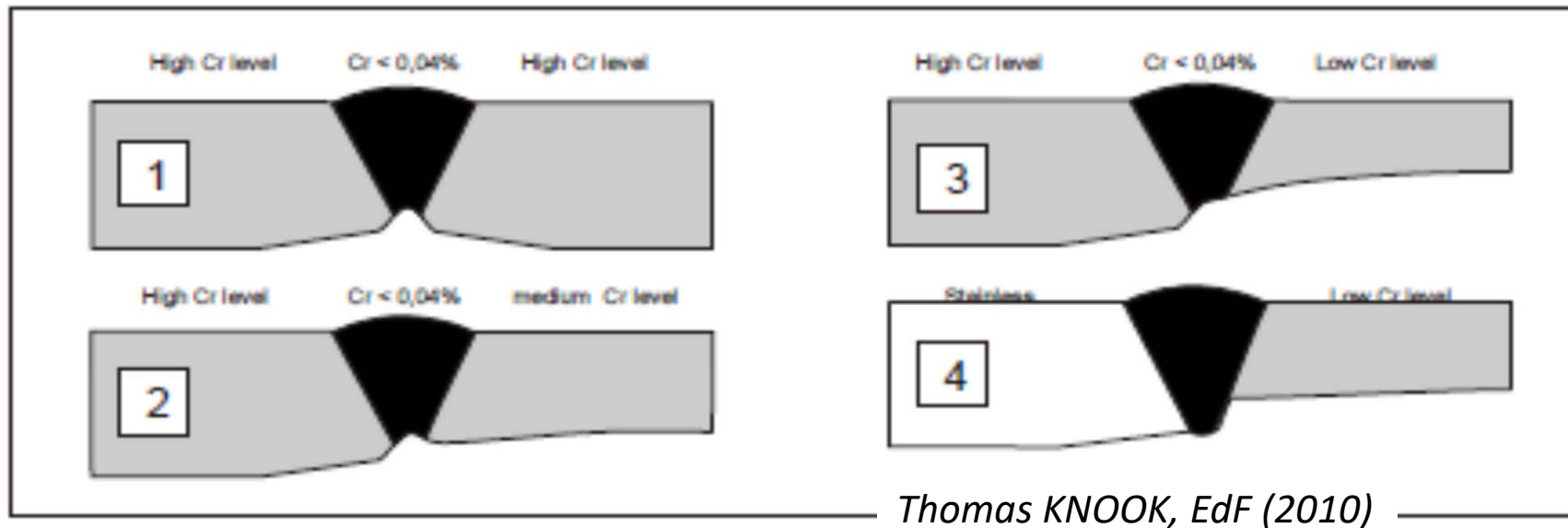


Figure 4 : FAC damage in low chromium contents materials and in the weld probably caused by local hydrodynamic phenomena.

Cr含有量の影響－ 入り口条件の影響による局所減肉 (最近のEPRI事例)

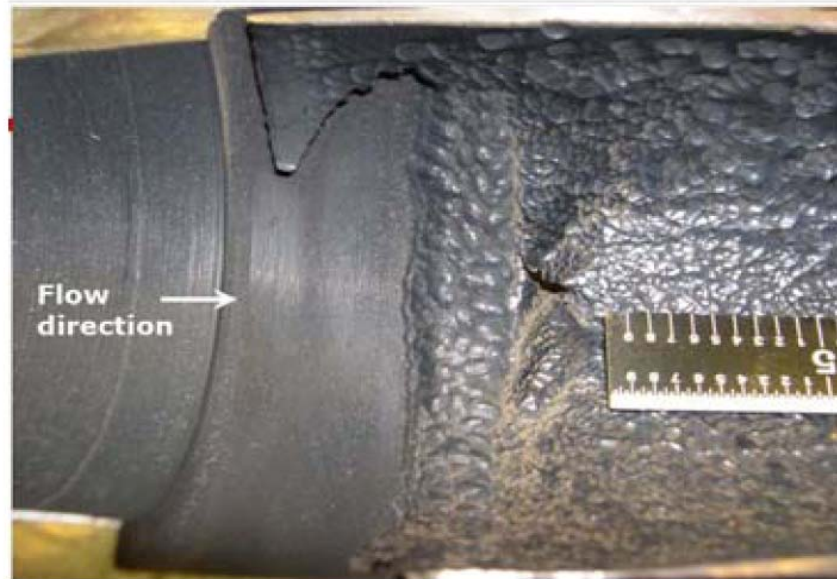


Figure 8 Small Bore Leak at Diablo Canyon
(Photograph courtesy of Pacific Gas & Electric)

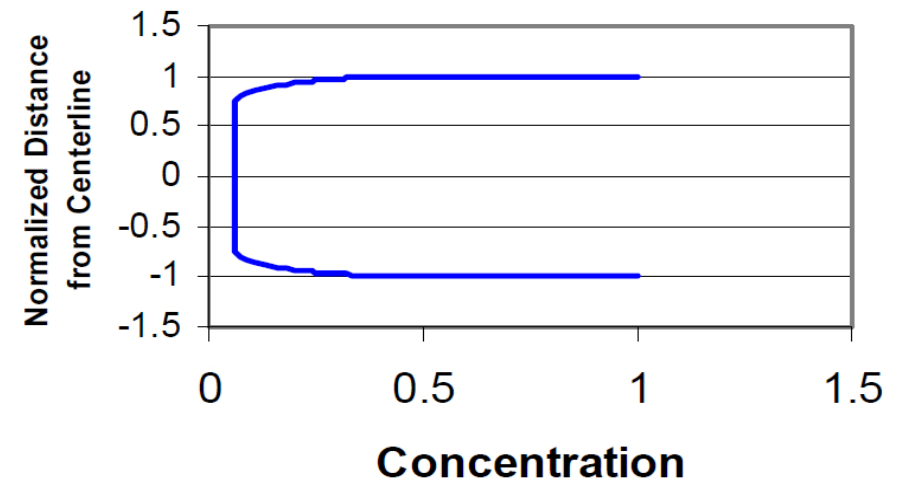
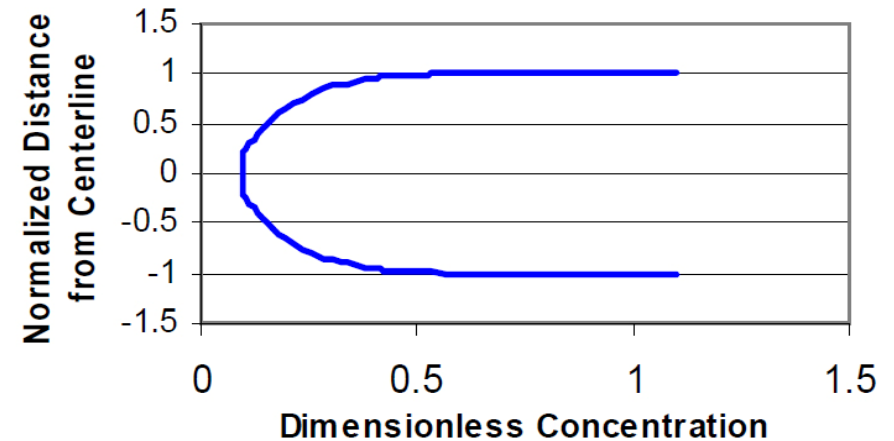
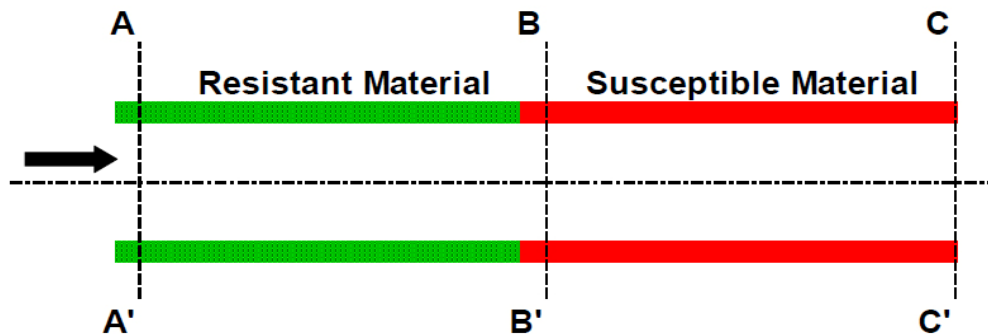


Figure 11 Concentration Profile at Section B-B' Turbulent Graetz Problem

鋼材成分の影響のまとめ

- 微量のCr(例えば0.5wt%)によりFACが効果的に抑制される。相対的に、Ni, Cu, Moの効果は限定的である。
- 皮膜構成酸化物がCrとFeの複合酸化物となることにより、溶解度が低下するためと理解される。酸化皮膜の空隙率が低下することもある要因であるとの考え方もある。
- 海外では、Cr含有量の違いに起因するFAC速度の相違により、溶接金属が優先的に減肉する事例が報告されており、局所減肉の原因となる場合がある。

FACの水化学と材料因子に関する知見のまとめ

基本的考え方

- FACは、酸化物皮膜形成を経由した鉄の溶解が流動によって加速される現象
- 水化学因子及び材料因子は、皮膜構成酸化物の溶解度への影響として理解できる。ただし、皮膜の緻密さ(空隙率)への影響については議論が残る。
- 水化学因子としては、温度、pH、溶存酸素濃度・水素濃度、材料因子としては、鋼材Cr含有量が重要である。

知見の現状

- 現象をおおよそ説明できるモデルは存在(機構には一部不明点も残る)
- 主要影響因子の個々の作用については相当程度把握(複合効果については引き続きデータが必要)

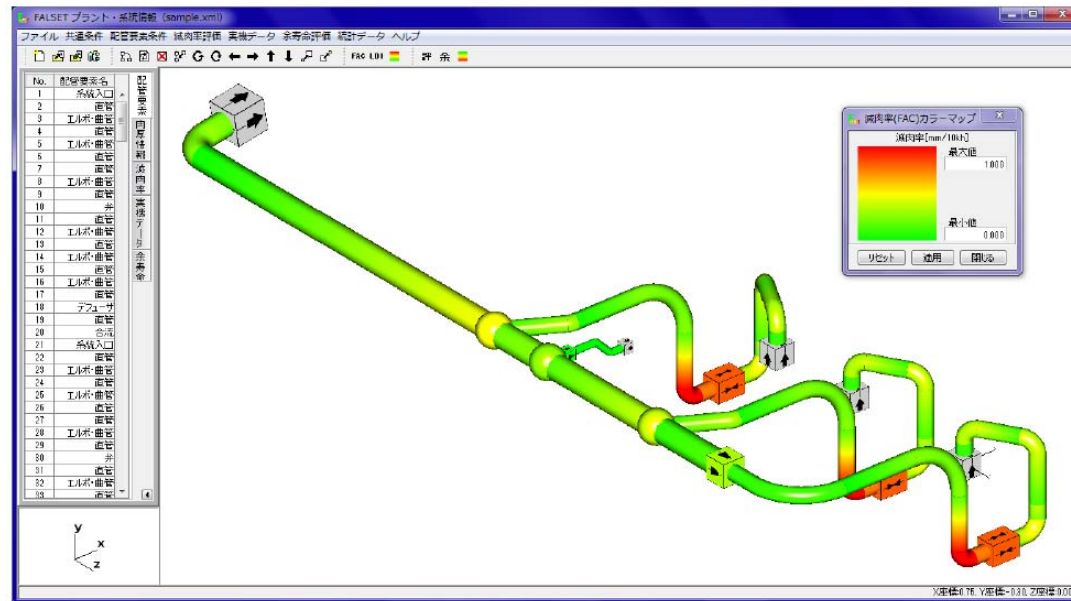
知見適用化の状況

- pH: 一部PWR二次系での高AVT採用(pH10程度)
一部PWR二次系でのETA処理(気液二相領域での高pH維持に有利)
- DO: BWRー 酸素注入による給水系配管のFAC抑制(DO管理値20～200ppb)
PWRー 2011年より一部PWRにおける酸素処理開始。高pH処理(pH10程度)の下で脱酸素剤(ヒドラジン)とともに5ppb程度の酸素を注入することにより、給復水系配管のFACを抑制。SG到達前に酸素は消費されるため、SGの健全性に影響は無い。

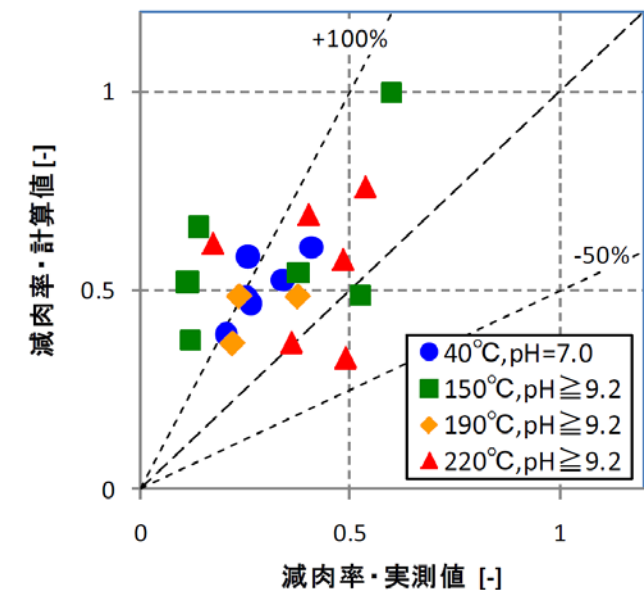
国内のFAC予測コードの開発(2)

- FALSET

- Fujiwara, Yonedaモデルを基に開発している予測コード
- FAC/LDIIによる減肉速度・余寿命の予測、実測データの読込・統計処理・余寿命評価等の各機能を搭載したソフトウェア
- 比較的高い減肉速度を示すデータに対して概ねfactor 2の予測精度



FALSETの表示画面例(米田ら(2012))



実機配管減肉速度の評価例
(米田ら(2012))

1. JSME配管減肉管理規格制定の経緯と分科会活動
2. 流れ加速型腐食(FAC)の特徴と水化学の重要性
3. 配管減肉管理規格の高度化の方向性

配管減肉管理に関する規格

(日本機械学会規格:国がエンドース)

管理規格(JSME S CA1-2005) 参考資料(現状知見の整理)が充実

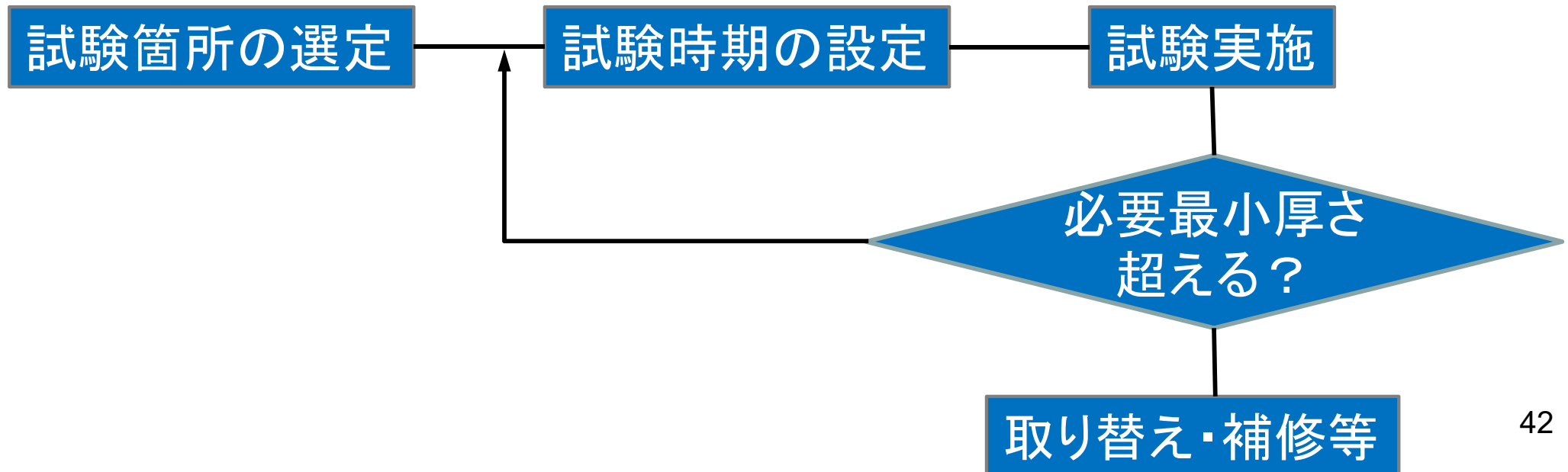
要求事項を定める規格(減肉管理の性能規定)

管理者の責務

管理者が策定する減肉管理指針が満足すべき要件

適用設備、対象事象、記録、

管理プロセス:試験計画(対象部位・時期・方法)・実施・評価(進展予測)・措置



減肉管理の技術規格

- 管理規格要求事項を実現するための具体的仕様を定める
- PWR (JSME S NG1-2006)
- BWR (JSME S NH1-2006)
- FACと液滴衝撃エロージョンが対象
- 試験計画・試験実施・評価・措置

規格高度化のための技術課題

JSME「配管減肉管理に関する規格及び技術規格改定・充実化に向けた技術戦略マップ」

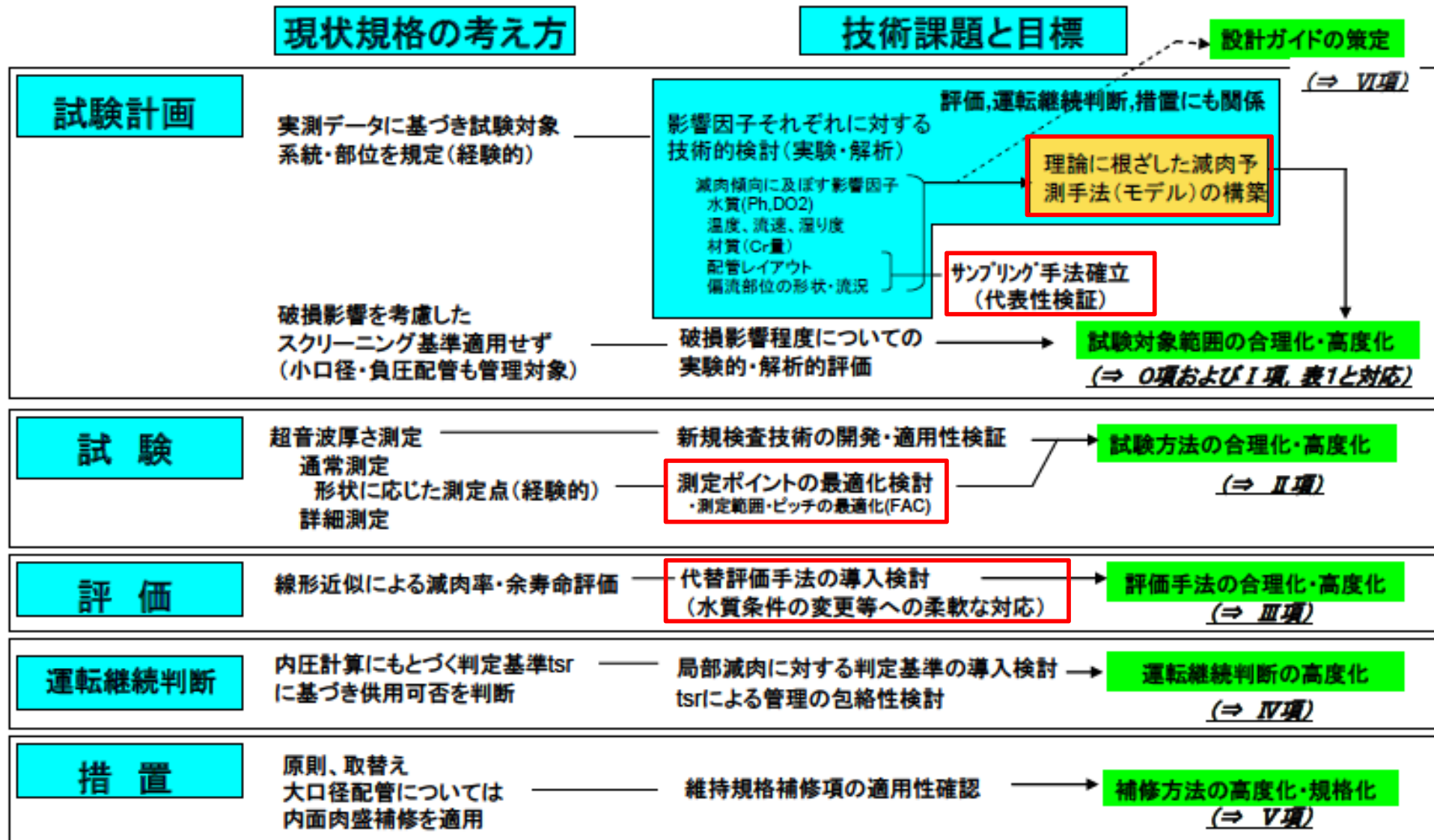
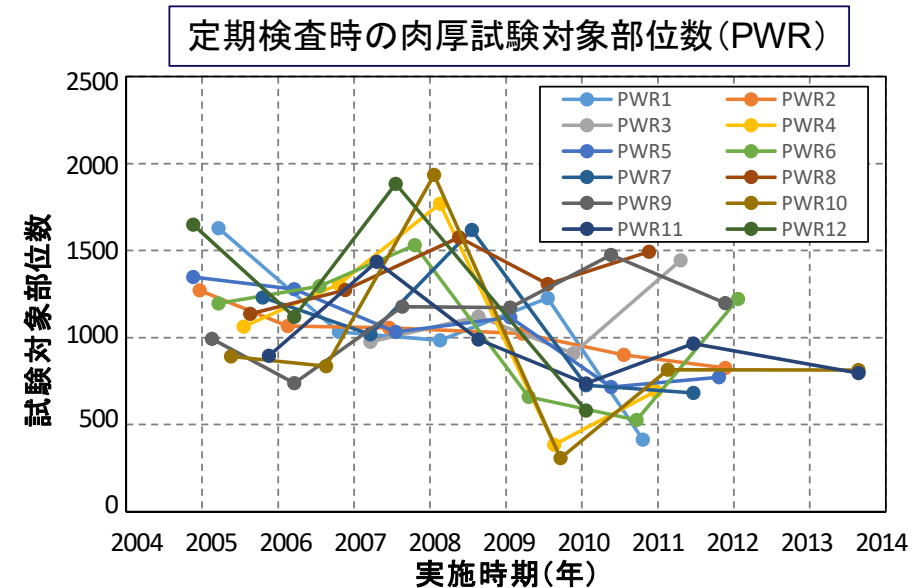
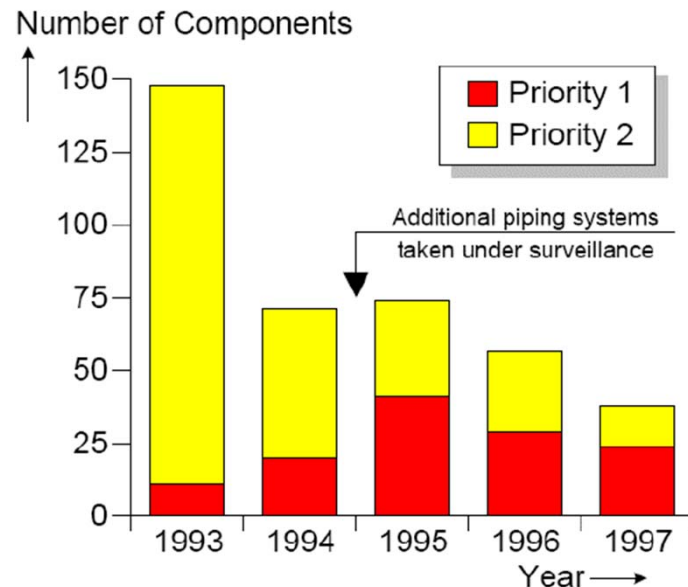


図 2. 管理の流れの中での現状規格の考え方と、それに対する技術課題および規格改定・充実化に向けた目標との関係

1. はじめに(1)

- 現状の発電プラントの配管減肉の管理は、日本機械学会において策定された規格(JSME減肉管理規格)に基づき、配管の肉厚測定の実績に基づいた管理が行われてきている
- 肉厚測定に基づく管理は、配管の減肉状態を最も直接的に把握することができる。その一方で、未測定部位の測定時期の設定の妥当性や、測定回数の少ない場合に減肉速度の評価精度が低くなるなどの課題もある
- 欧米では予測コードを用いた減肉管理が導入されており、検査の対象部位や時期の設定などが科学的合理性をもって可能となる

1. はじめに(2)



国内外のプラントにおける肉厚検査箇所数
(左: 独Leibstadt発電所, 右: 国内PWRプラント)

- 予測コードを用いた配管減肉管理を行う海外のプラントは、肉厚検査箇所数が国内プラントより一桁程度少ない
- 本報告では、本分科会が2018年の成果報告書に取り纏めた予測手法の配管減肉管理規格への導入方針について紹介

2. 予測手法の規格化検討の方向性(1)

- 以下の方法で、国内の減肉管理への予測手法の導入方針について具体的な検討を進めた
 - ① 減肉管理の改善が見込まれる、**現行規格の改訂が必要と考えられる項目を抽出**
 - ② 個々に詳細な**予測手法導入方針を整理し、それぞれの骨子案を作成**

2. 予測手法の規格化検討の方向性(2)

■ 予測手法導入に際して規格改訂が必要な6項目を抽出

1. **初回測定時期の最適な設定**: 初回の肉厚測定時期を設定するための系統単位や流動条件毎の初期設定減肉率/代表減肉率を, 予測手法による減肉率で代替
2. **2回目測定時期の最適な設定**: 2回目の肉厚測定時期を設定するための公称肉厚法や代表減肉率を, 予測手法による減肉率で代替
3. **代表部位の合理的な選定**: BWRプラントの減肉管理で用いられる代表部位管理について, 現状の選定基準・方法を, 予測手法による減肉傾向の評価で代替

2. 予測手法の規格化検討の方向性(3)

4. 運転状態の変更による減肉への影響の考慮: PWRの高pH運転などに伴う水質条件の変化, 熱出力一定運転等に伴う流動条件の変化に対する減肉率の変化について, 予測手法によってその影響を反映
5. 直接測定が困難な部位の評価: 補強板下部や曲率半径の小さい部位などの, 肉厚測定が困難な部位に対して, 予測手法による肉厚分布を考慮
6. 局部減肉部位の減肉量の定量評価: LDI等の局部的な減肉においては通常測定の格子間隔で減肉傾向を把握できない可能性があるため, 予測手法による肉厚分布を考慮した管理とする

3. 管理規格の改訂方針の検討(1)

- 抽出した6項目について、**JSME減肉管理規格**の中に反映すべき事項や概要をまとめ、具体的な改訂方針案を検討
 - 現行のPWR/BWR規格では、「C章 配管減肉管理に対する技術的要求事項」として、FACおよびLDIに対する減肉管理が記載(CA章およびCB章)
 - 予測手法を用いた減肉管理の規格内への位置付けについて、分科会にて十分に議論を行い、C章と対になるように、**予測手法に基づく検査間隔を定める規定を別の章(D章)として新設**することが妥当であると判断
 - 事業者による検査間隔の設定において肉厚測定と予測手法の選択の自由度を与える
 - 現行規格からの改訂内容を明確に分離することで、規格の構成が理解しやすい

3. 管理規格の改訂方針の検討(2)

予測手法を導入した配管減肉管理(D章)の改訂骨子案(抜粋)

C章 (CA章)	項目名	概要(本文)	D章 (DA章)	項目名	概要(本文)	概要(解説)
1000	試験計画	CA-1100～1200 に従う CA-3000、4000 の結果も反映	1000	試験計画	・プラント毎に予測手法の適用方針(レベル)を明確にすること ・DA-1100～1200に従う。DA-3000、4000の結果も反映	・予測手法適用方針とは ・管理機能種類と管理レベル ・予測手法主体か測定併用か ・供用期間の途中から適用する場合は、適用時点の状況も踏まえた適用方針の決定が必要 [ガイド参照]
1100	試験対象 系統 及び部位	(1)対象系 統・・・ 表CA-1100、 図CA-1100 (2)対象部 位・・・偏流発生 部位	1100	試験対象 系統 及び部位	(1)対象系統・・・表 CA-1100、図CA- 1100から予測手法 の適用対象とする 系統・範囲を選定 する (2)対象部位・・・ CA-1100(2)に準じ る	・減肉傾向が小さい系統・部位 に対しては予測誤差が大きくなる ⇒代表部位選定、優先順位検 討には適用可 [ガイド参照]

3. 管理規格の改訂方針の検討(3)

- 改訂規格の構成案として、D章の記載内容は基本的な要件や実施事項のみとし、本文を技術的に補足するガイドラインを別冊で作成

予測手法を導入した配管減肉管理(D章)のガイドライン案(抜粋)

No	タイトル	概要	概略内容
1	予測手法とは	1.1 本ガイドにおける定義	本ガイドにおける「予測手法」とは、プラントの配管系統に対して、配管のレイアウトや、流動・水質・材料などの影響因子の情報から、FACやLDIなどの配管減肉現象の減肉率を予測する手法のことをいう。 減肉率の予測は、一般的に「予測モデル」と呼ばれる、現象のメカニズムに基づいて構築された減肉率を予測する数値モデルを用いる。
		1.2 予測手法による減肉管理の経緯・目的	配管系統の減肉率の予測により、配管の余寿命予測による試験実施時期や補修・取替時期の最適化、肉厚の測定が困難な部位の減肉傾向の評価を実施するなど、各減肉管理項目に対して、より最適な管理を行うために使用する

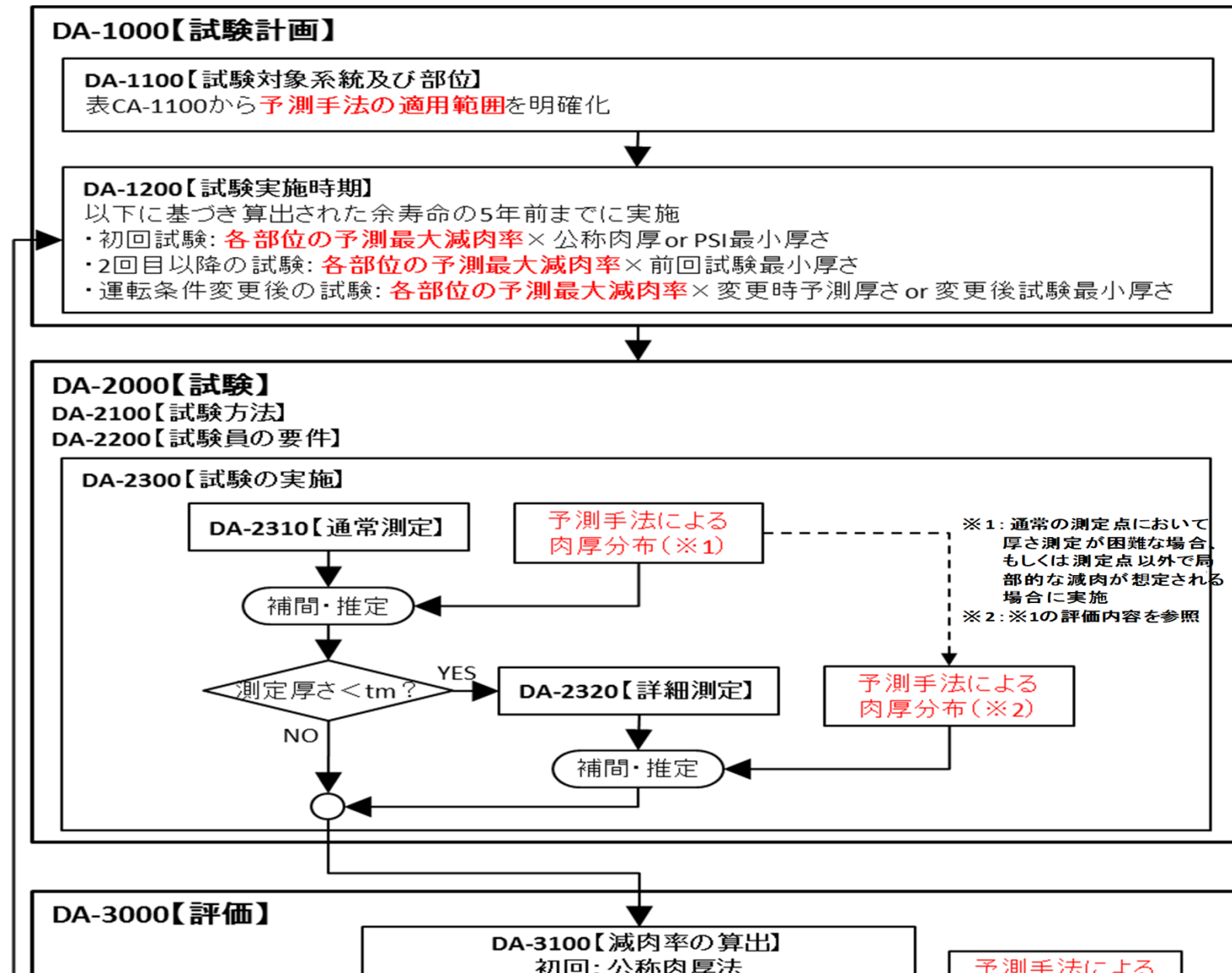
3. 管理規格の改訂方針の検討(4)

■ D章, ガイドラインの特徴的な項目

- 予測手法の満足すべき機能
 - 減肉メカニズムに基づく影響因子を考慮可能
 - 適用範囲・条件が明示
 - 使途に応じた定量的/定性的な予測が可能
- 保守性の担保
 - 十分な標本数により保守性を検証すること
- 利用者の要件
 - 配管減肉管理に対する理解
 - 予測手法に対する理解(一般的な特性、予測傾向)
 - 定期的教育・訓練(導入時、更新時等)
- その他, EPRIの減肉予測手法を活用した減肉管理に関する文書 NSAC 202-Lを参照し, 本質的に必要な事項の不足が無いように留意して作成

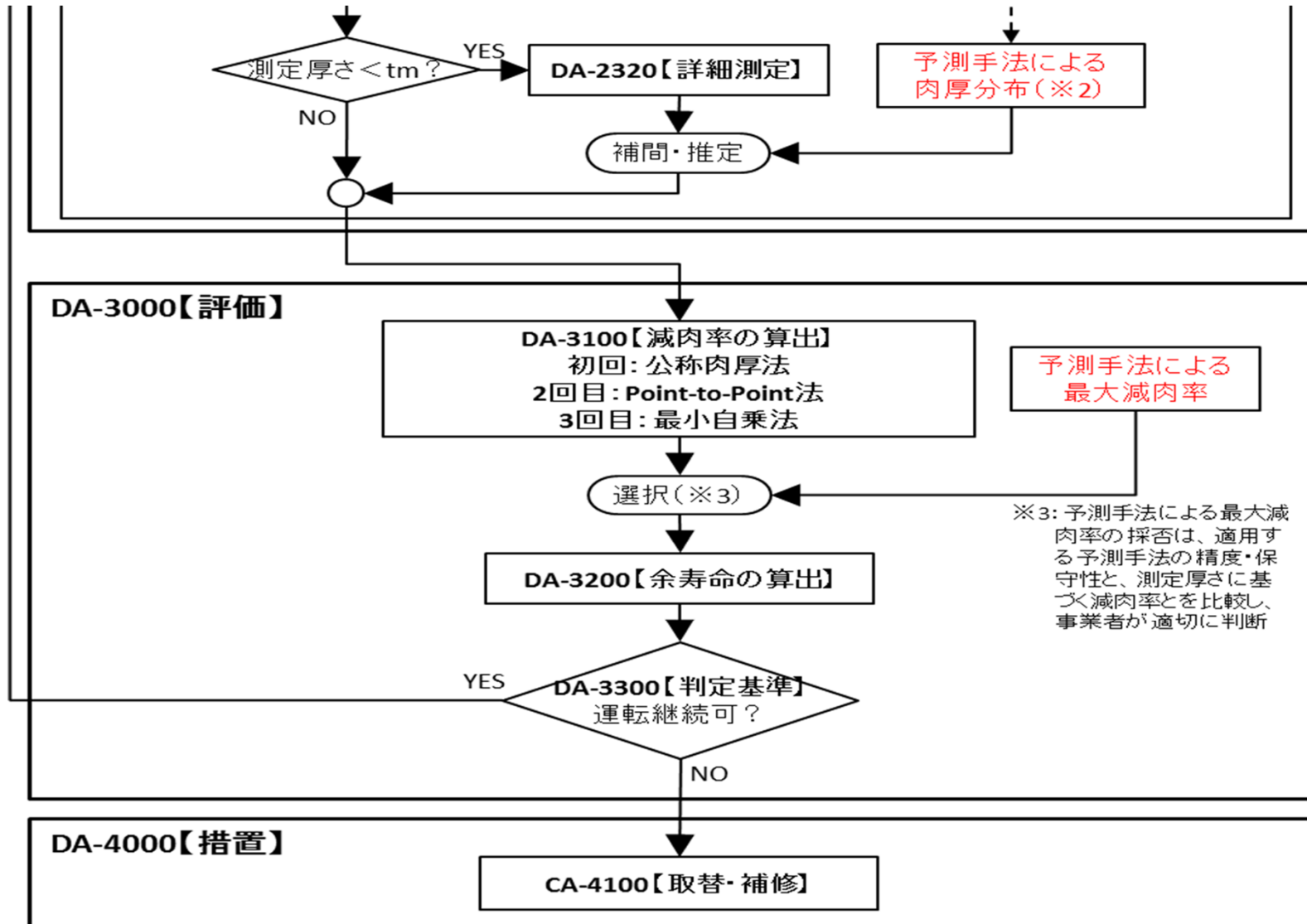
管理フローの例

PWR技術規格【D-1400 予測手法を適用した場合の管理プロセス】

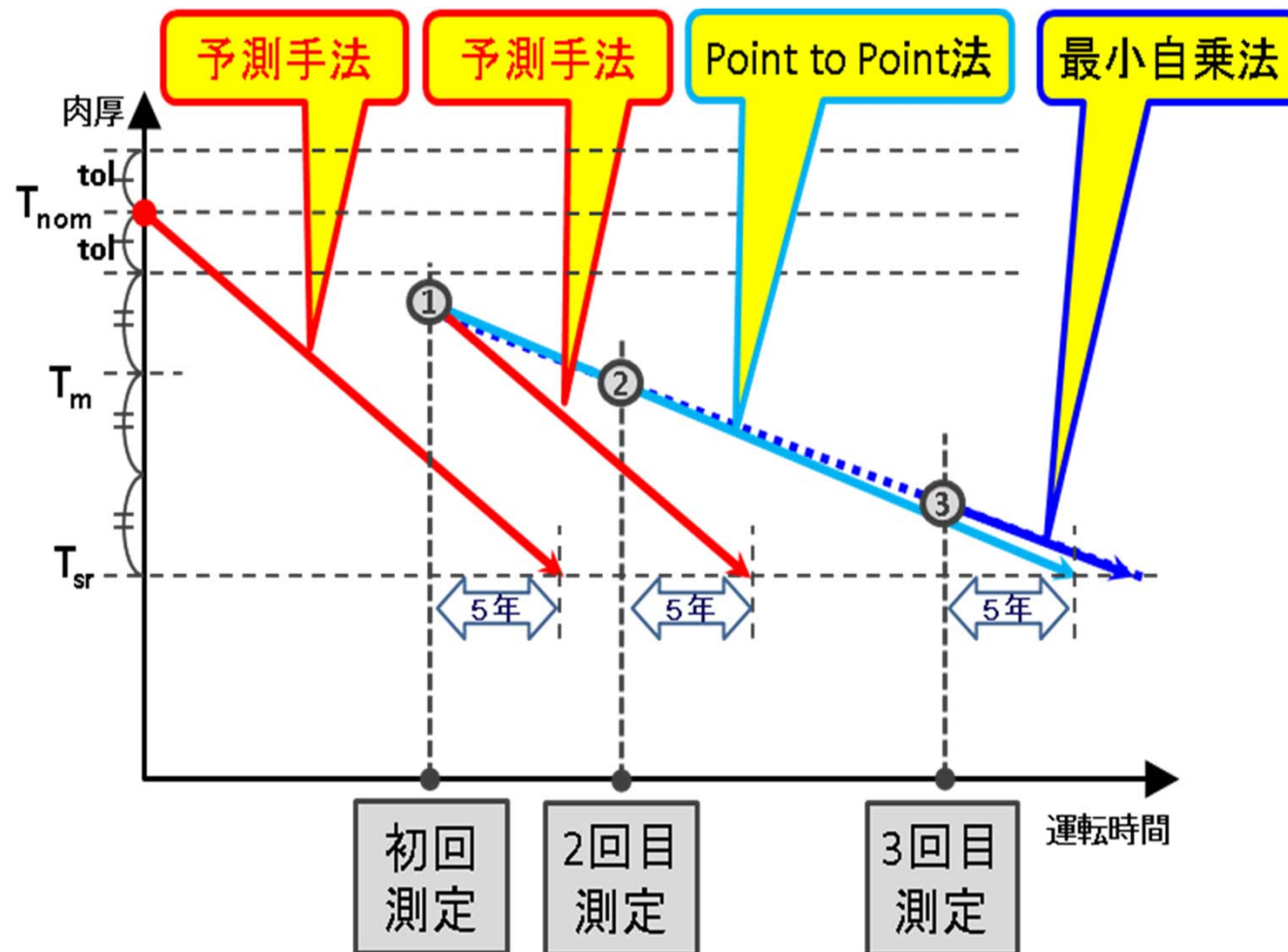


管理フローの例(つづき)

PWR技術規格【D-1400 予測手法を適用した場合の管理プロセス】



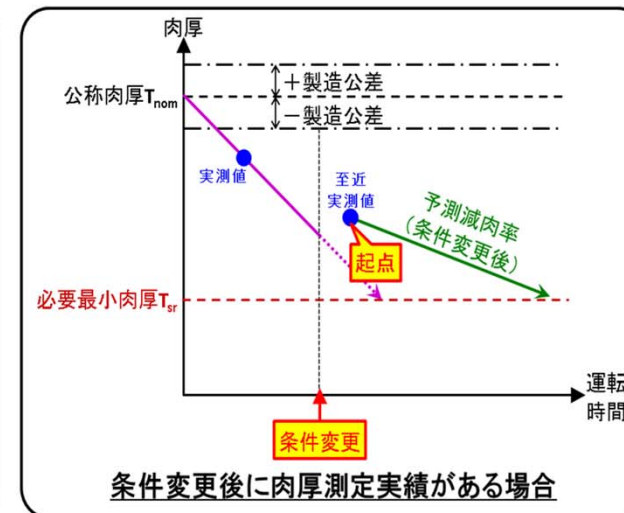
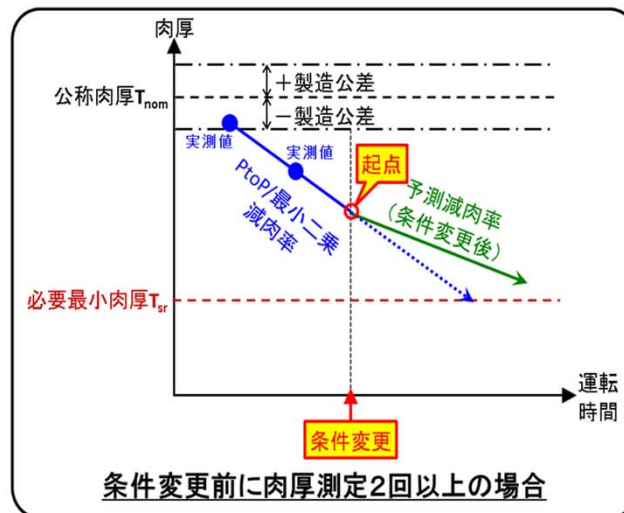
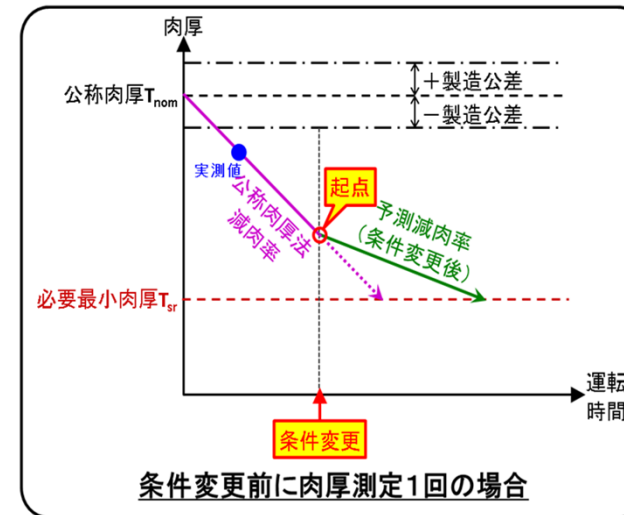
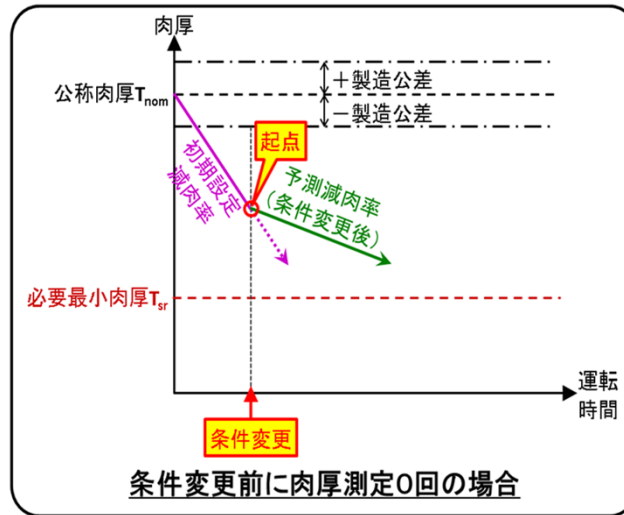
PWR【DA-1200-1 予測手法を適用した試験実施時期の設定】
BWR【DA-2200-1 予測手法を適用した試験実施時期の設定】
(初回、2回目試験に適用した例)



PWR【DA-1200-2 予測手法を適用した試験実施時期の設定】

BWR【DA-2200-2 予測手法を適用した試験実施時期の設定】

(運転条件変更後に適用した例)



3. 管理規格の改訂方針の検討(5)

- 現行の減肉管理プロセスへの影響：予測手法の導入により従来プロセスから変化する工程は以下の通り
 - ①試験対象範囲の設定に対する適用：管理対象全体から、予測コードの性能や適用条件を踏まえて、予測手法の適用範囲を明確化する工程
 - ②試験実施時期の設定に対する適用：従来の肉厚からの減肉率の算出ではなく、予測手法を用いて配管部位毎に減肉率を算出して試験実施時期を設定する工程。運転条件変更に伴う減肉傾向の変化についても、管理に適切に反映可能

3. 管理規格の改訂方針の検討(6)

■ 現行の減肉管理プロセスへの影響(つづき)

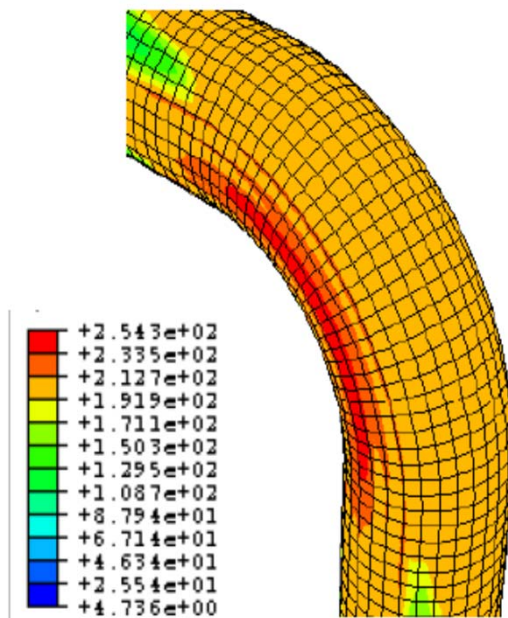
- ③肉厚測定[○]の補間・推定[○]に対する適用[○]: T管補強板や曲率半径が小さい継手部など, 通常の測定が困難な部位の減肉分布を予測手法によって求め, 測定が困難な領域の肉厚値を補間・推定する工程
- ④余寿命評価[○]に対する適用[○]: 予測手法による減肉率を用いて余寿命を評価する工程

4. まとめ

- 国内プラントの減肉管理への予測手法の適用について、その導入方針について検討を行った
- 減肉管理への予測手法の適切な活用は、安全性を損なわずに減肉管理を最適化することになり得るため、規格化の重要性は十分認識されている。
- 今後は、実際の規格化に向けた動きが活発化すると考えられるが、規格改訂案は、予測手法の保守性などの適用の妥当性や、予測手法を適用した管理を適切に遂行し得る継続性などについて明快なものとする必要がある。
- 取りまとめた管理規格改訂方針および予測手法適用ガイドラインの骨子案が、規格改訂案の策定の一助となれば幸いである。

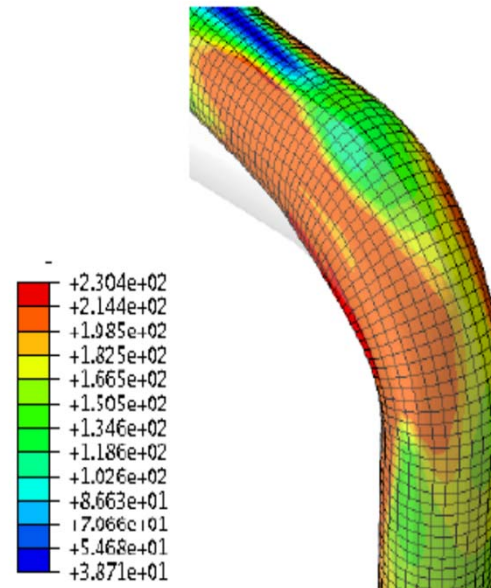
今後の検討の方向性－①

局所減肉に対する判断基準－耐震性に対する影響



Mises stress (MPa)

面内振動の場合



Mises stress (MPa)

面外振動の場合

エルボを加振したときの応力分布

Sakai, M., Matsuura, S., Morita, R.,
Inada, F., Onishi, S., ASME
PVP2017-66161

● LDI

- 背側の応力は小さい。
- LDIでは背側の局所減肉となり、耐震性を気にしなくてよい可能性

● FAC

- 腹側～横腹の応力が大きい。
- FACではこの領域でよく減肉し、耐震性に対して影響する可能

今後の検討の方向性②

局所減肉に対する判断基準＋Risk Informed Approachによる管理

- LDI

- 比較的低压配管が多く、貫通しても影響度小
- 耐震に対しても問題が小さい
- 局所減肉に対する判断基準は適用しても問題ないのではないか？

- FAC

- 比較的幅広に減肉し、貫通した場合の影響度は大
- 耐震性についても、局所減肉に対する判断基準の適用性を確認する必要
- 減肉範囲が、局所減肉の場合の判断基準(ASME Sec.III CC597-3等)の適用範囲に収まるかどうかについても要確認

日本機械学会「配管減肉保全管理の高度化のための調査研究分科会」(主査:稲田文夫)での活動成果⁽¹⁾が随所に反映されています。関係各位に謝意を表します。

(1) P-SCD391 配管減肉保全管理の高度化のための調査研究分科会成果報告書, 日本機械学会 動力エネルギーシステム部門(2018).