

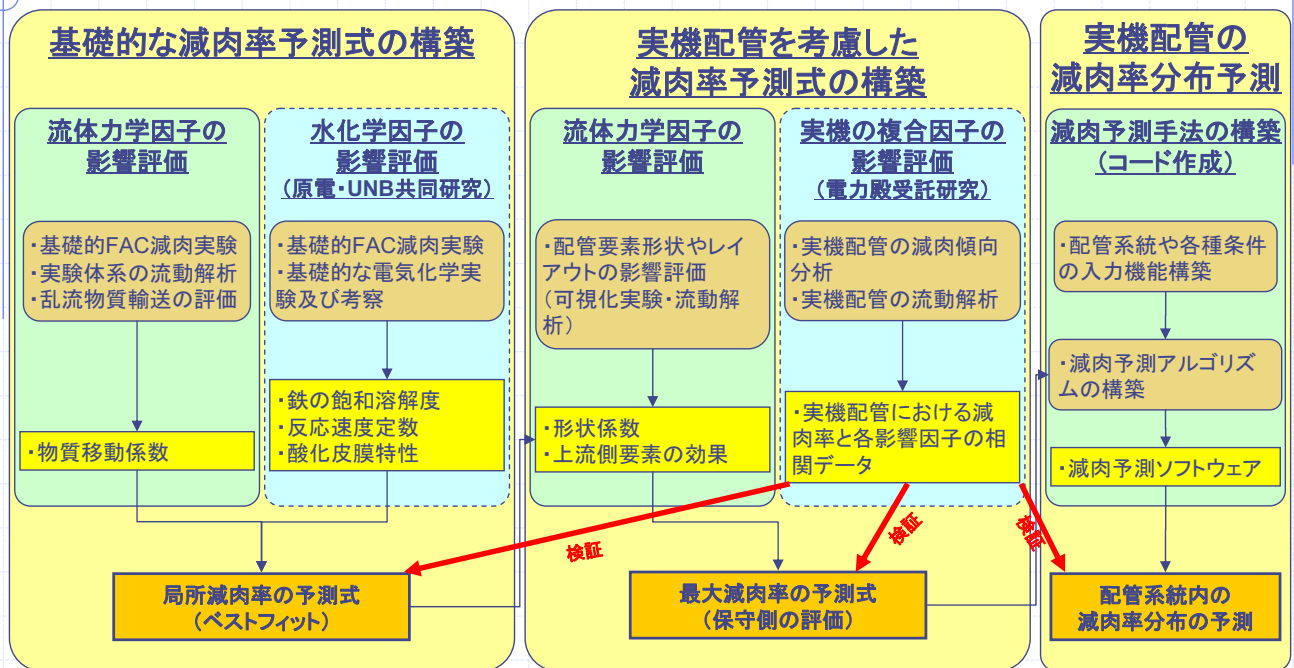
FACに関わる各因子の影響評価研究

(財)電力中央研究所
軽水炉高経年化研究総括プロジェクト 配管減肉ユニット
米田 公俊

紹介内容

- 電中研におけるFAC研究の全体概要
- FACの流動因子に対する基礎的研究
 - FAC減肉試験 “PRINTEMPS”
 - 流動数値計算 “MATIS-I”
- FACの水化学因子に対する基礎的研究
 - 日本原電殿-UNB*共同研究
- 配管オリフィス体系における流動の評価
 - 流動の可視化実験と数値計算

電中研におけるFAC研究の全体概要



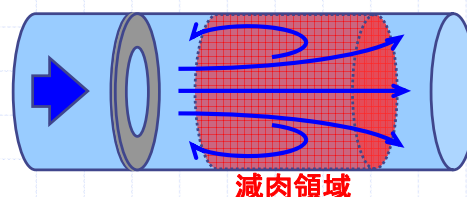
FACの流動因子に対する基礎研究

【実施内容】

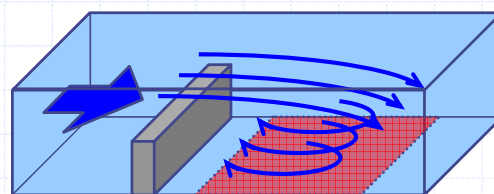
- ・実機水質・材料条件でのFAC減肉実験
- ・高精度な流動数値計算
- ・局所的な減肉量と流動因子との相関の解明

研究の目的・手法

- 目的
 - FACによる減肉量と減肉面近傍の局所的な流動因子との相関の解明
- 考え方
 - 実機配管形状の直接的な模擬ではなく、物理的な局所乱流特性の関与が重要
 - 減肉面の可視化計測を実施したい
- 手法
 - 矩形流路の実験体系にて実機水質条件下のFACによる減肉を再現
 - 減肉量をガラス越しにオンライン測定
 - 局所乱流特性を数値解析により把握

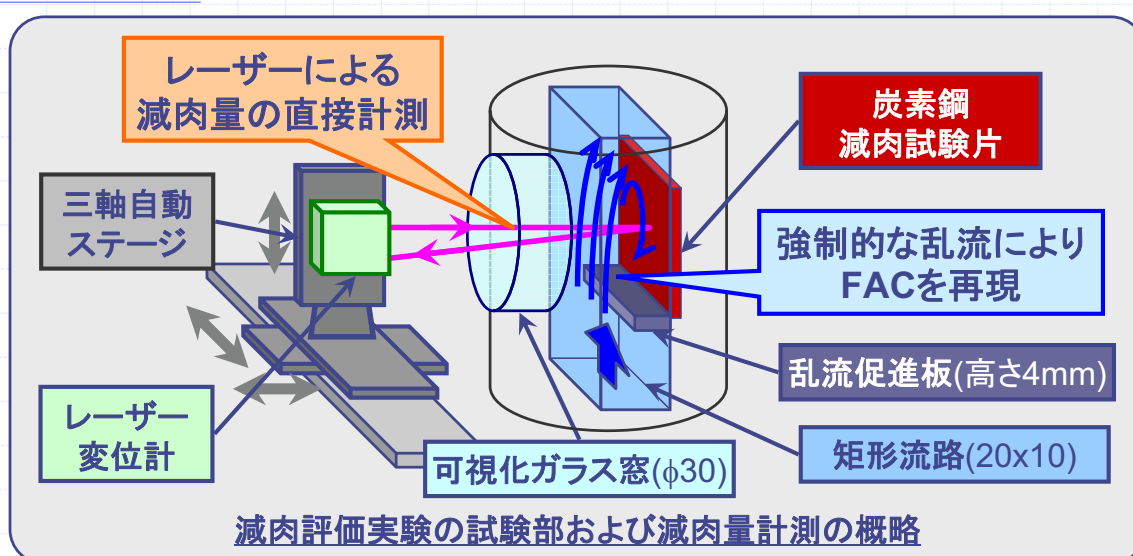


実機配管オリフィス体系の概念



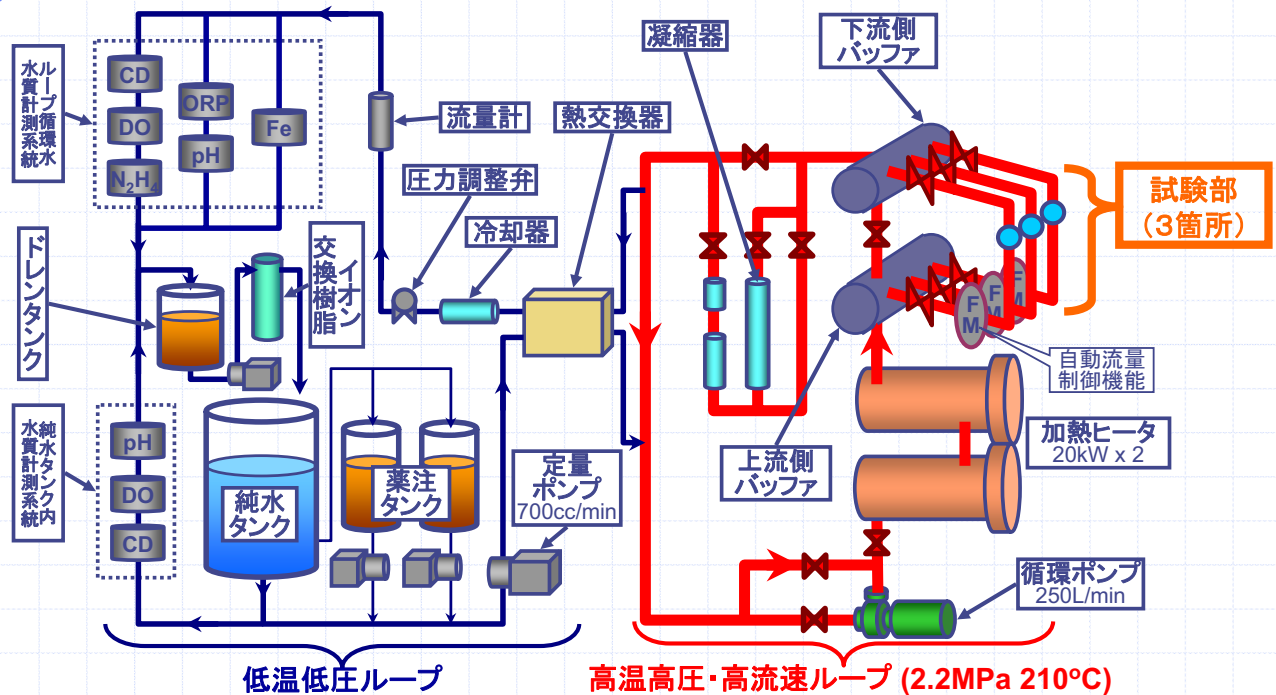
基礎的減肉実験体系の概念

FAC減肉実験 ～減肉試験部概要～



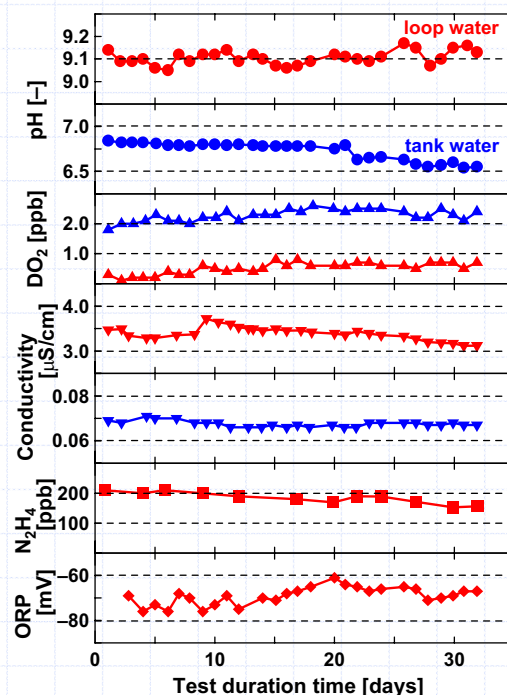
- レーザ変位計により、可視化窓から計測できる範囲を、水平方向にスキャンをしながら減肉量を計測

FAC減肉実験 ～実験設備PRINTEMPS概要～



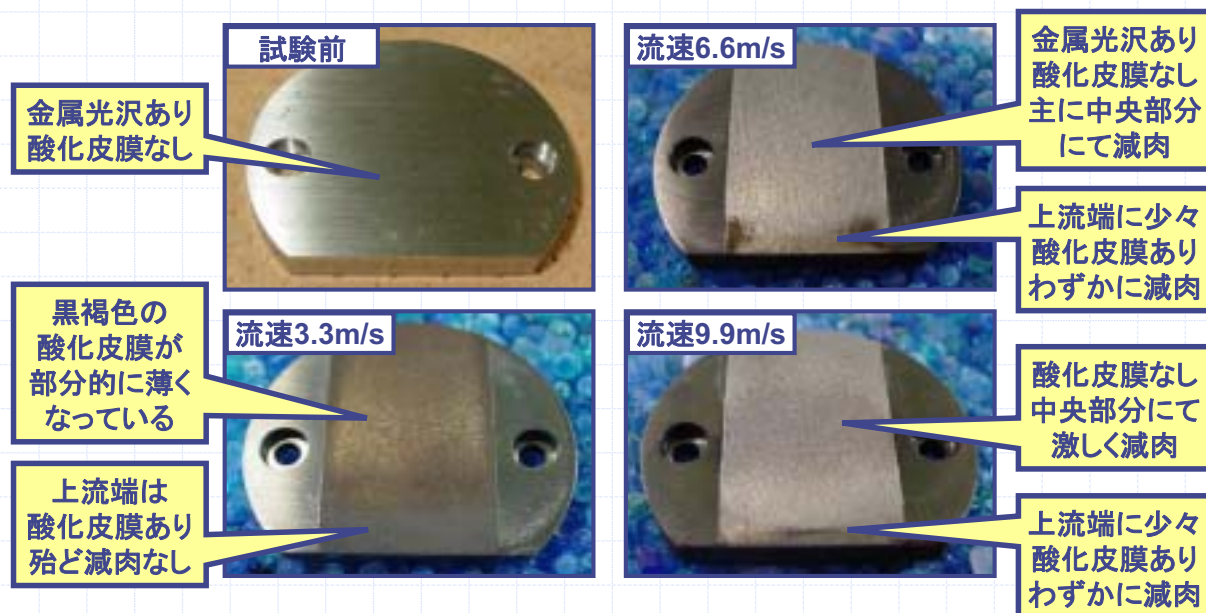
FAC減肉実験 ～実験条件の例～

- 実験条件
 - 温度: 150°C
 - 圧力: 1.6MPa
 - 試験部流速: 3.3m/s, 6.6m/s, 9.9m/s
 - pH: ~9.1
 - 溶存酸素: <1ppb
 - ヒドラジン: ~200ppb
 - 試験片材料: STPT480
- 実験時間
 - 30日間(約720時間)



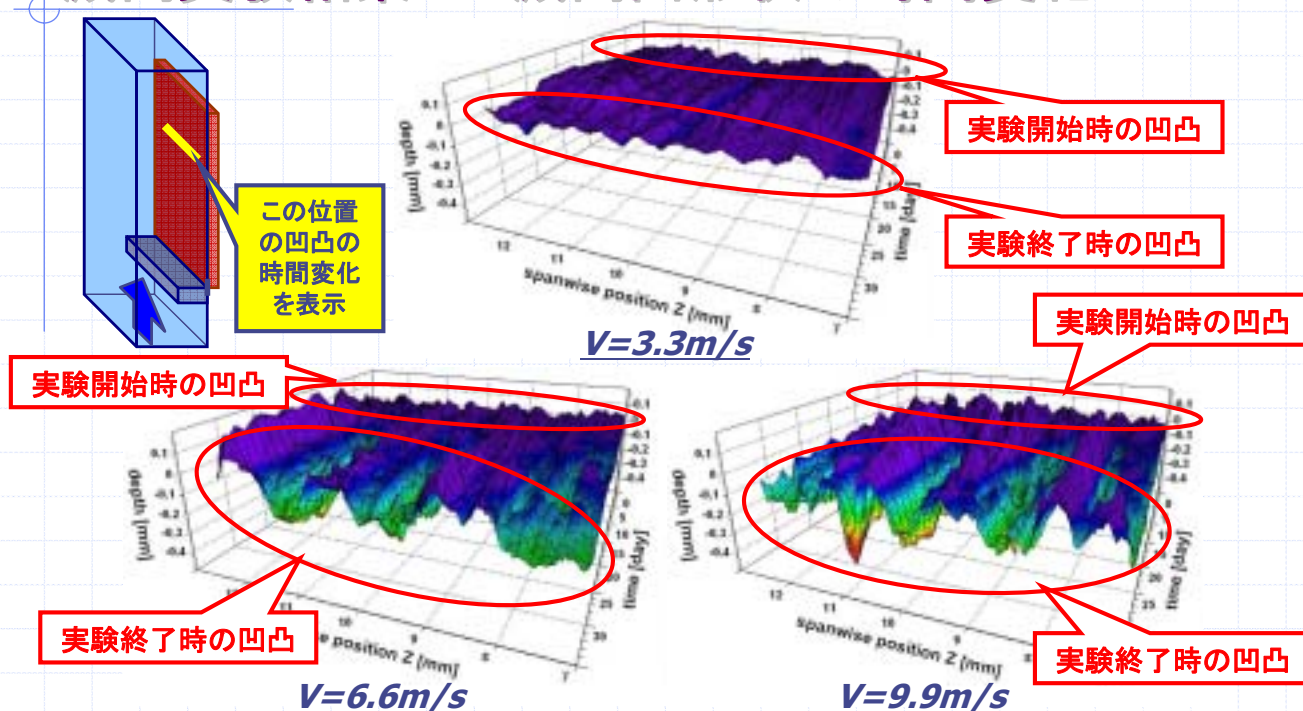
実験期間中の水質条件履歴

減肉実験結果 ～減肉試験片外観～

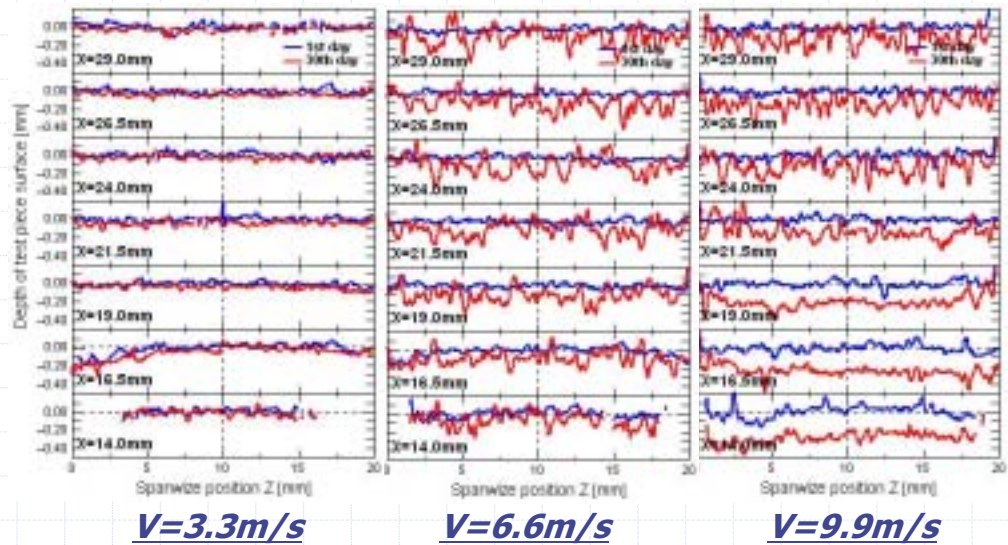
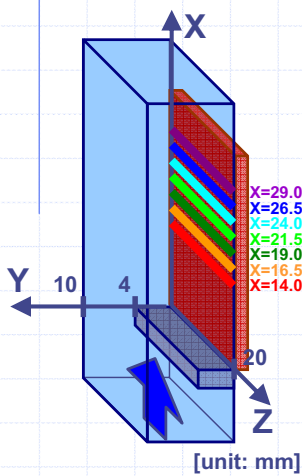


減肉試験片の試験前後の写真

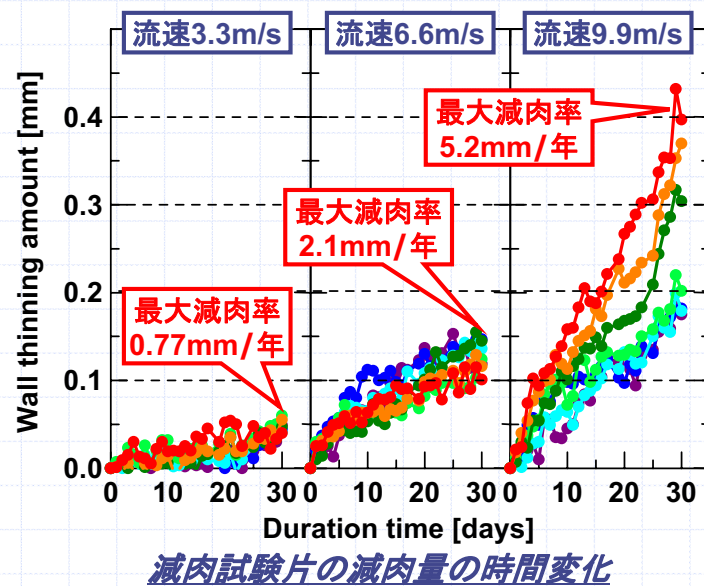
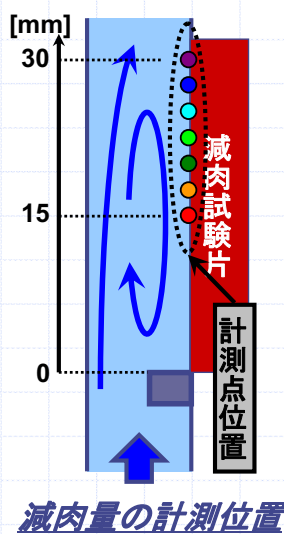
減肉実験結果 ～減肉面形状の時間変化～



減肉実験結果 ～実験前後の減肉面形状～

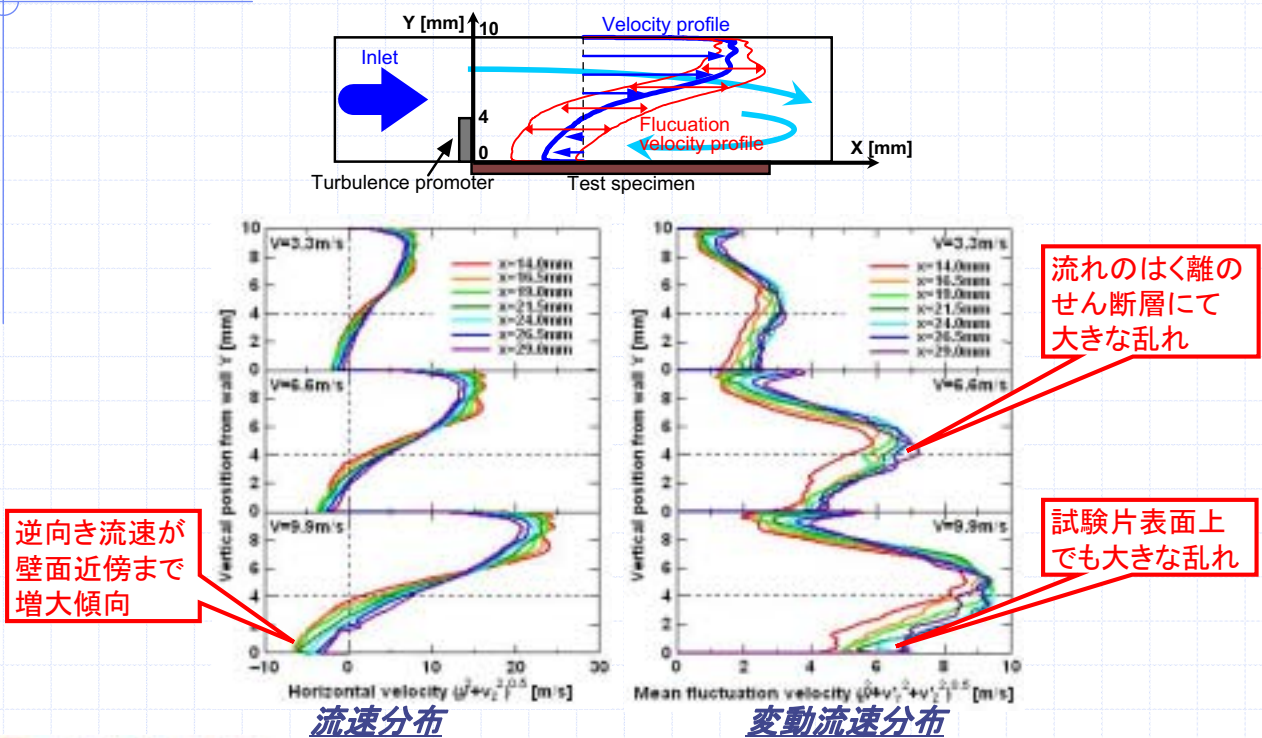


減肉実験結果 ～減肉量の時間変化～

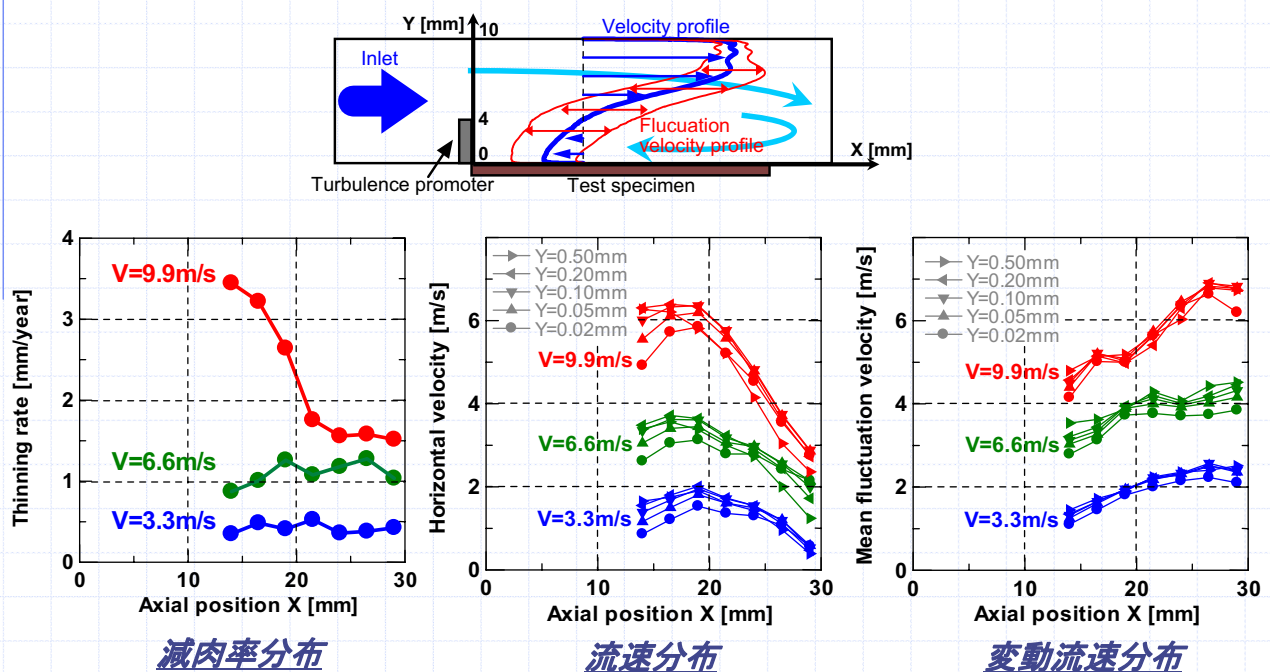


- 減肉量は時間に対してほぼ比例して増加

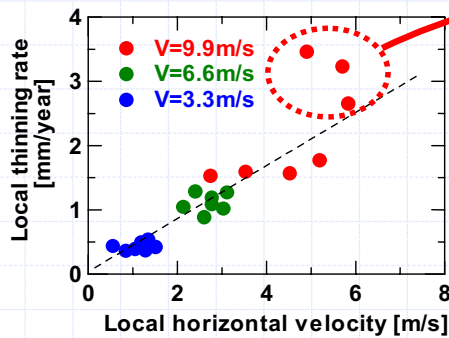
流動数値計算 ～実験体系の流れ場～



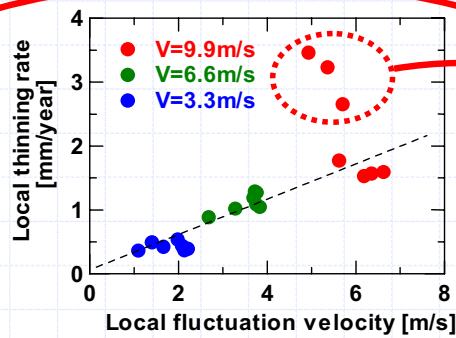
実験と計算の比較 ～減肉量と流動特性の分布～



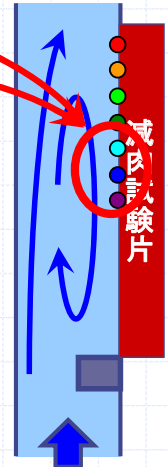
局所的な減肉量と流動の相関



減肉率と流速の相関



減肉率と変動流速の相関



- 減肉率に対して流速、変動流速は共にほぼ比例の関係
 - 高流速条件の数点を除く ⇒ 異常な減肉傾向？
- 今後の課題
 - 「平均的な流速」と「乱れ」の各効果を分離した実験的検討
 - 流動特性から物質移動係数への変換

「FACの流動因子に対する基礎研究」のまとめ

- 炭素鋼(STPT480)試験片を用いた減肉実験では、試験片上の減肉量分布をレーザにより定期的に計測した。
- この結果、減肉による窪みや酸化皮膜の形成過程がわかり、表面形状の時間変化を示すデータを取得した。
- 試験片の表面上の局所的な流速や変動流速(乱流成分)は共に、一部の高い減肉傾向を示したデータを除き、局所減肉率に対してほぼ比例する相関が得られた。
- 今後の課題としては、流速と変動流速の影響度合の定量化及び物質移動係数の算出が挙げられる。

FACの水化学因子に対する基礎研究

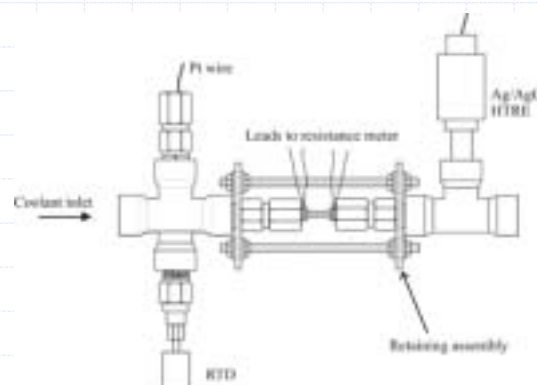
◎カナダUniversity of New Brunswick(UNB)・日本原電殿との共同研究を含む

「水化学による皮膜制御技術を用いた配管等の減肉抑制対策に関する研究」

・実施期間:平成17～19年度 (20年度～フェーズⅡ 予定)

研究の目的・内容

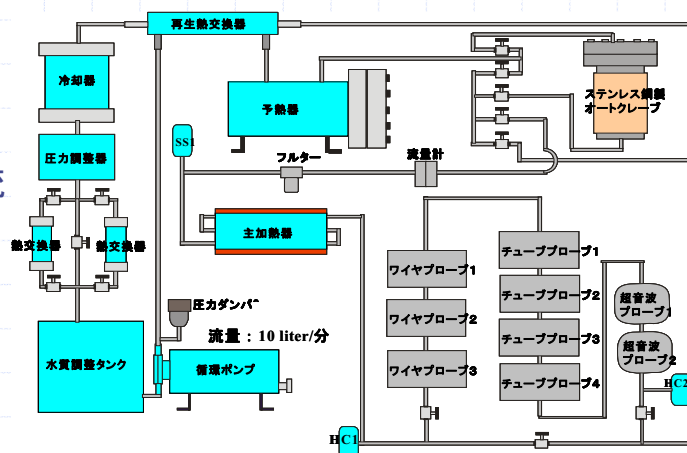
- 目的
 - 材料表面の酸化皮膜性状を念頭に、FACによる減肉量と水化学因子・材料因子や流速との相関の解明
- 内容
 - 基礎的FAC減肉実験(UNB)
 - ◆ 電気抵抗測定法等による減肉計測
 - 電気化学挙動評価(電中研)
 - ◆ FAC試験ループ“SAFETY”
 - ◆ 高流速条件での電気化学測定
 - 水化学因子主体の減肉速度予測手法の開発、FAC抑制法の提案



**UNB実験ループの減肉試験部例
(チューブプローブ)**

基礎的FAC減肉実験の概要

- オンライン計測試験部(3種類)
 - ワイヤプローブ
 - チューブプローブ
 - 超音波プローブ
- 流速・水化学条件を短時間で系統的に変化させ連続的な評価
- 検討項目
 - 流体力学の影響
 - 溶存酸素の影響
 - ヒドラジンと溶存酸素の相乗効果
 - 材料の影響



UNB実験ループの概要

電気化学挙動評価の概要

目的: 高流速条件で電気化学測定を行い、FACに及ぼす電気化学挙動の影響を評価

評価項目

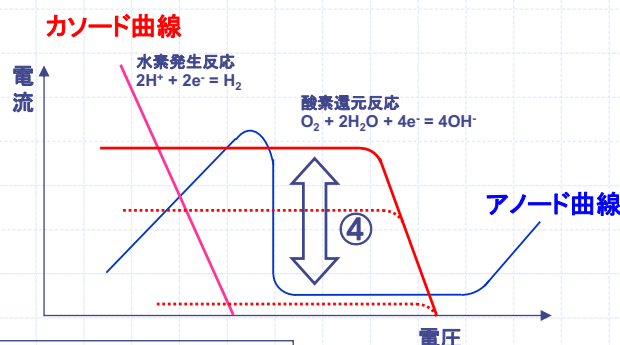
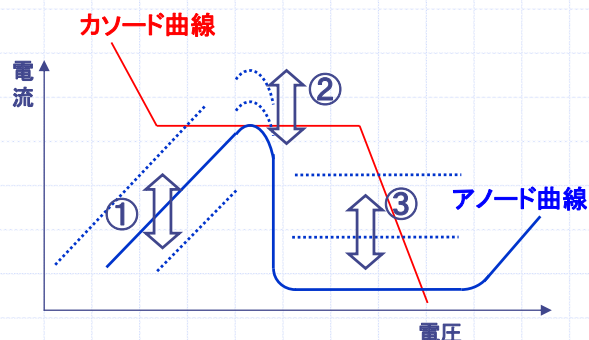
アノード分極曲線による評価

- ① 活性溶解速度に及ぼす各因子の影響
- ② 活性溶解ピークに及ぼす各因子の影響
- ③ 不動態保持電流密度に及ぼす各因子の影響

カソード分極曲線による評価

- ④ 不動態保持電流密度に及ぼす各因子の影響

- 律速過程の明確化によるFAC評価式へ反映
- FAC抑制に必要な溶存酸素濃度値に対する理論的根拠の呈示



現在、試験開始に向け装置の調整運転中

これまでに得られた成果の概要

- pHの影響
 - 脱気条件での減肉速度: pH7 > pH9.2 ⇒ pHの影響を確認
- 溶存酸素濃度の影響
 - FAC抑制に必要なDO₂値: pH7 > pH9.2
 - 電位-pH図で、アルカリ側では、より低い電位でヘマタイトが安定となることとからも妥当な結果
- フェーズ2研究
 - これらの成果の実機への反映を目的として、
上記FAC挙動におよぼす流速の影響を定量的に評価する予定
 - ◆ 流速が早い場合には少ない酸素注入量でFACを抑制できるかなど

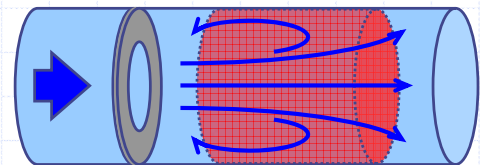
配管オリフィス体系における流動の評価

【実施内容】

- ・常温大気圧条件での流動可視化実験
- ・高精度な流動数値計算
- ・実機オリフィス体系における減肉領域の推定

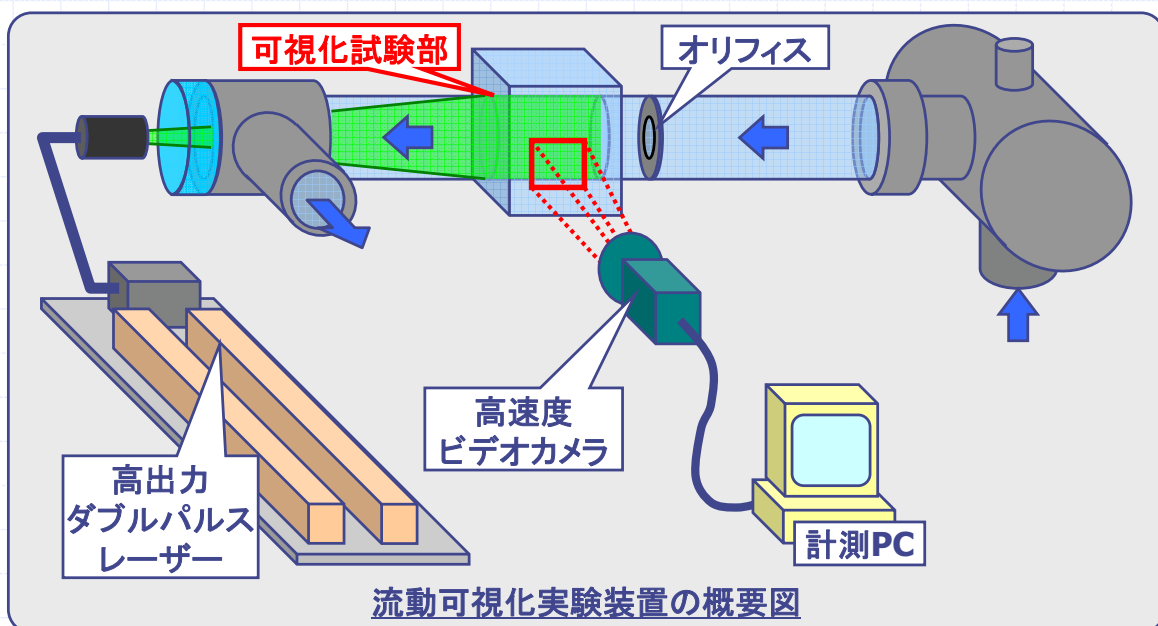
研究の目的・手法

- 目的
 - 配管オリフィス下流域での流動特性を把握し、実機での減肉領域を推定する。
- 手法
 - 常温大気圧条件での流動可視化実験
 - ◆ 透明アクリルを用いた試験体系
 - ◆ PIV手法による二次元流速計測
 - オリフィス体系の流動数値解析
 - ◆ LES乱流モデルを採用した独自コード“MATIS-I”による非定常単相流解析
 - ◆ 可視化実験結果により精度を検証
 - 実機オリフィス体系条件での流動特性を計算により予測し、減肉領域を推定



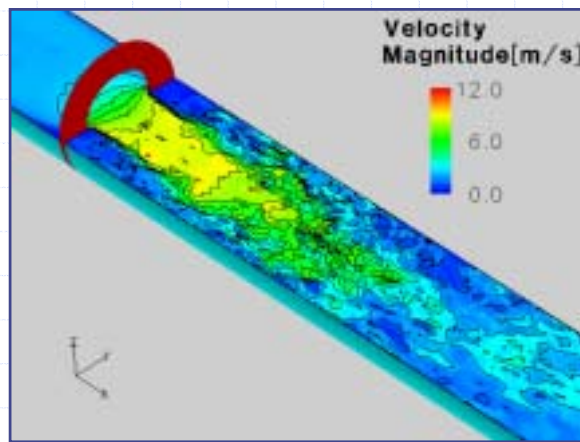
実機配管オリフィス体系

流動可視化実験 ～実験概要～



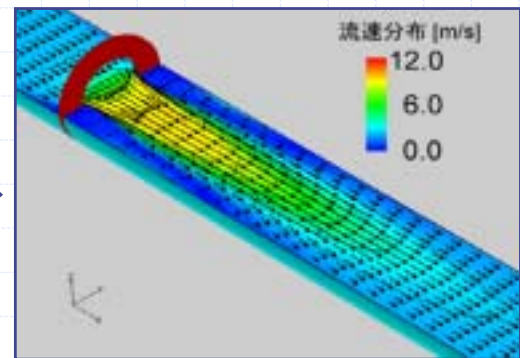
- オリフィス・エルボ等の配管要素における基礎的な流動を可視化計測

流動数値計算 ～結果例～

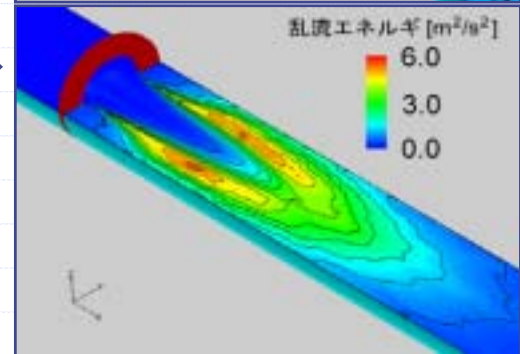


オリフィス下流域の非定常流動

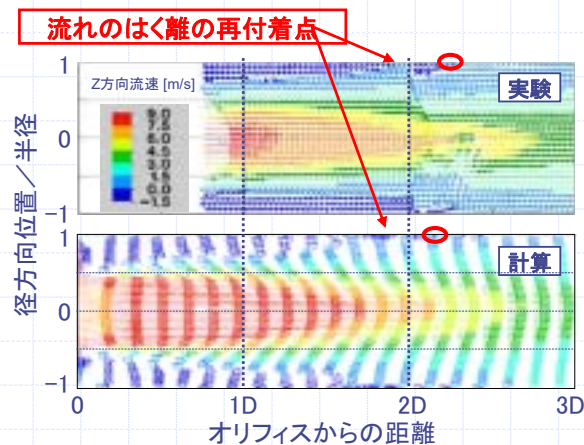
平均化



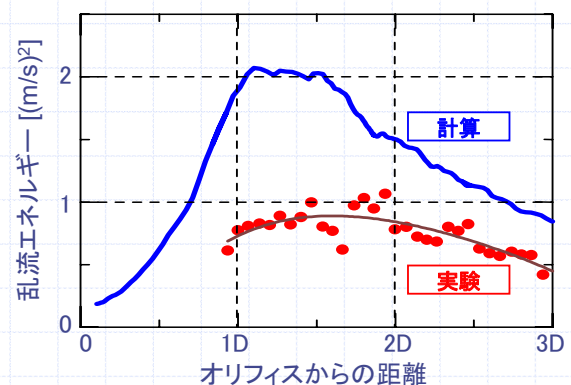
平均化



実験と数値計算の比較(数値解の検証)



(a)軸方向平均流速

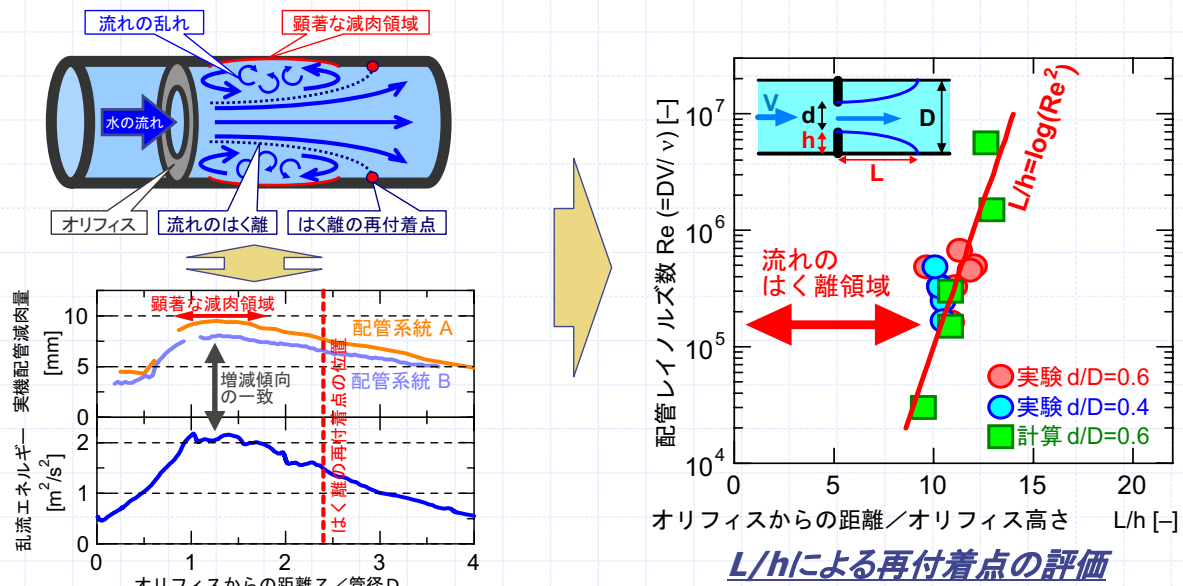


(b)壁面近傍の乱流エネルギー

計算結果と実験結果との比較

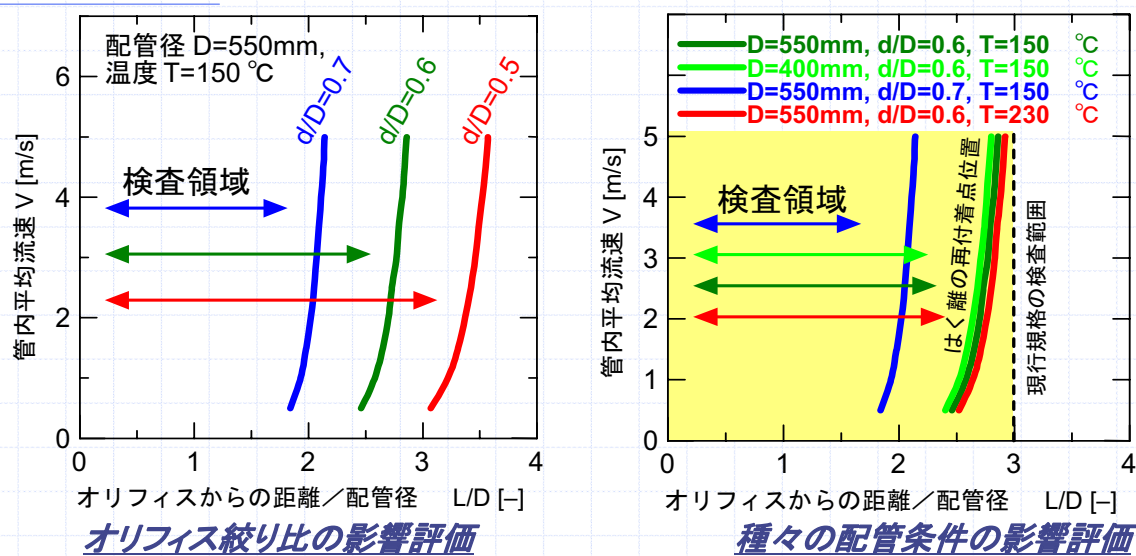
- 本計算手法の計算精度
 - 平均的な流れ場については定量的な予測が可能
 - 局所的な乱れについては定性的な予測が可能

実機減肉領域評価(1) ～流れのはく離の再付着点～



- 流体力学的観点より、顕著な減肉領域は、はく離領域内≒再付着点の内側
- 再付着点の位置 L は、オリフィス高さ h による無次元化で汎用的な評価が可能

実機減肉領域評価(2) ～検査領域の評価～



- L/h を用いた関係式により、顕著な減肉領域≒検査領域を評価
- 実機プラントの液単相流配管での一般的なオリフィス仕様の範囲内では、現行規格 ($L/D \leq 3$) にて十分に保守的な検査・管理が可能

「配管オリフィス体系における流動の評価」のまとめ

- 液単相流配管のオリフィス下流域におけるFACによる減肉現象に対して以下の知見を得た。
 - 顕著な減肉領域は、壁面近傍の乱流が極大となる、流れのはく離領域内
 - はく離の再付着点位置の、配管径・オリフィス絞り比に依らない評価式を構築
 - 実機プラントの一般的なオリフィス仕様範囲内では、現行JSME管理規格に規程の検査範囲 $L/D \leq 3$ で、十分に保守的な管理が可能

まとめ

- FACの流動因子に対する基礎的研究
 - 局所的な減肉量と流動特性との相関の解明
 - 物質移動係数の算出
- FACの水化学因子に対する基礎的研究
 - 水化学因子の個々の影響評価
 - 流速も含めた複合的な影響評価
- 配管オリフィス体系における流動の評価
 - 特徴的な流況を参照した減肉箇所の推定
- 将来的には実機プラント配管の減肉分布予測手法の構築を目指す