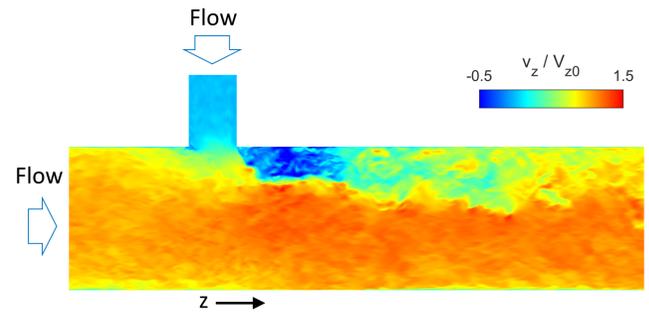


複雑流動場におけるスカラー輸送過程の解明を目指した大規模数値計算 : 実験計測データとの比較による数値モデルの構築



研究背景および目的

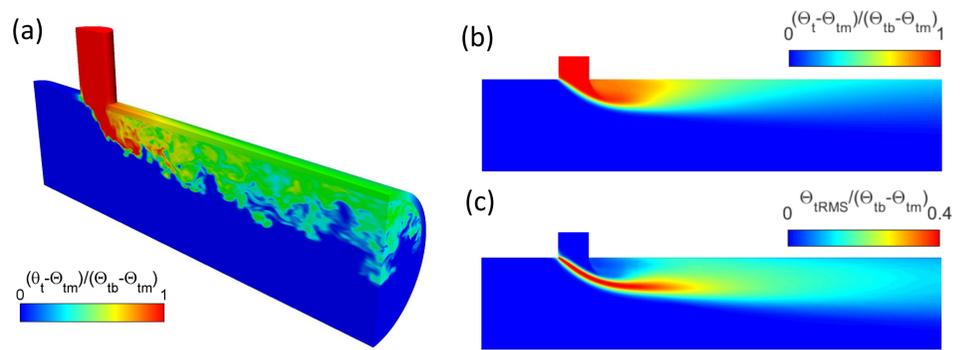
発電プラント(火力、原子力)における熱や物質のスカラー輸送を伴う配管流れの数値流体計算を実施し、配管安全管理の高度化に資する知見を得ることを目的とする。プラント配管の高経年化による配管疲労・損傷の要因として、高サイクル熱疲労および流れ加速型腐食があげられる。



T字管合流部の垂直断面における流れ方向流速分布

T字管合流部におけるスカラー輸送の数値計算

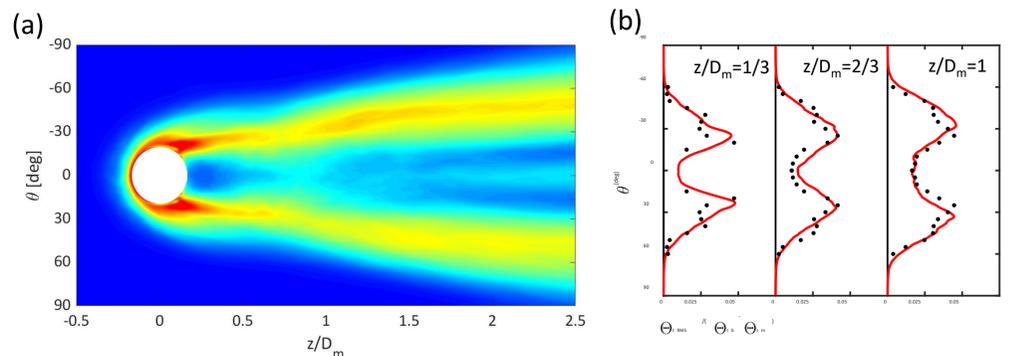
- T字管合流部では剥離、再循環、旋回を伴う3次元的な複雑流動が発生するため、壁面伝達現象の詳細な解析には wall-resolved large eddy simulation が有効となる。
- OpenFOAMを用いた大規模計算を名大スパコンのtype 2 サブシステム(FUJITSU PRIMERGY CX2570 M5)で実施した。



高サイクル熱疲労を対象とした温度場計算結果(流動場は壁面噴流条件)
(a)瞬時温度場, (b)時間平均温度場, (c)温度の時間変動RMS値。

高サイクル熱疲労を対象とした温度場計算

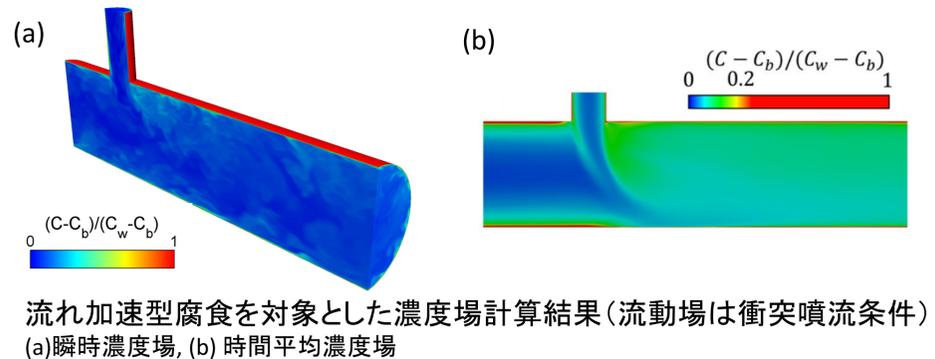
- 低温流体と高温流体の混合により壁面近傍の温度が変動すると、配管内部の温度も変動し、配管構造物に繰り返し応力が発生する。
- ソルバーとしてchtMultiRegionFoamを用いて、流体と構造間の熱伝達を連成解析(弱連成)した。乱流モデルにWALEモデルを用いたlarge eddy simulationを実施した。
- 流体部の温度混合と壁面への熱伝達を解析するのに十分な空間解像度(約8500万セルのメッシュ)を設定して計算を行った。計算結果は原子力安全システム研究所(INSS)が実施した実験結果とよく一致しており、計算精度の高さを確認できた。
- 統計解析時間として100秒間という比較的長い時間発展の計算を完了した。今後は、構築した時系列データを対象として、温度の時間変動特性や流体と配管構造間の熱伝達特性の解析を進める予定である。



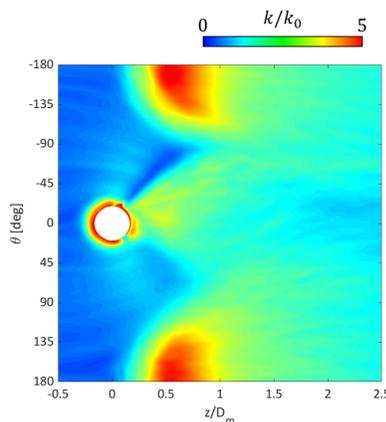
壁面における温度の時間変動RMS値
(a)壁面展開図, (b)周方向分布。赤実線: LES, 黒丸: INSS実験値(三好他(2018))。

流れ加速型腐食を対象とした濃度場計算

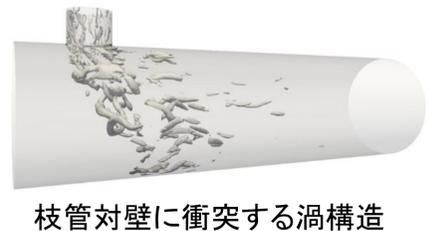
- 配管内で生じる複雑流動により、炭素鋼配管内壁からの鉄イオンの溶解および拡散が促進され減肉が進行する。
- 溶解後の鉄イオンの移流拡散をパッシブスカラーとして計算するために、pimpleFoamに濃度場計算を付加した。メッシュ数は約2500万セル。統計解析時間として8.8秒間の計算を実施した。
- 衝突噴流条件では、低濃度のバルク流体が枝管の対面の主管壁面に強くあたるだけでなく、枝管接続部から発生した渦構造の寄与により壁面の物質伝達が促進されることが確認できた。
- 今後は、時系列データを構築した壁面噴流条件と衝突噴流条件の詳細な解析を進める予定である。また、壁面の物質移行係数を直接的に測定する実験も進めており、実験と数値計算の比較も行っていく予定である。



流れ加速型腐食を対象とした濃度場計算結果(流動場は衝突噴流条件)
(a)瞬時濃度場, (b)時間平均濃度場



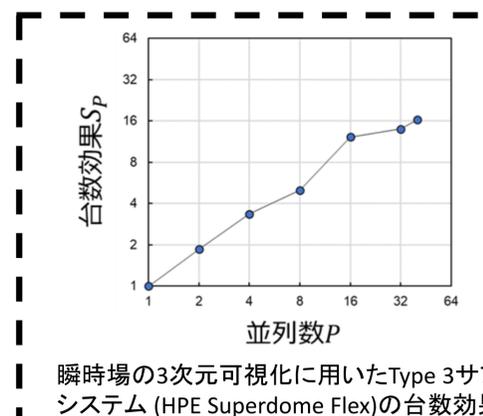
壁面における物質移行係数の分布



枝管対壁に衝突する渦構造

paraviewを用いた大規模可視化

- 大容量メモリを搭載したType 3サブシステム (HPE Super dome Flex)において瞬時場の可視化を行った。
- paraviewを用いた並列可視化を行い、逐次処理では困難であった大規模なメッシュの時系列データの可視化が実現できた。



瞬時場の3次元可視化に用いたType 3サブシステム (HPE Superdome Flex)の台数効果