

# プラント配管系における高・低温流体の合流・混合

名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 助教授  
廣田 真史

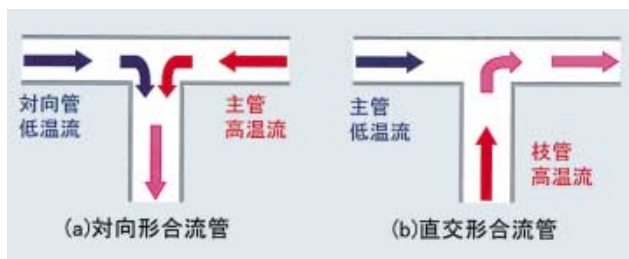
Associate Professor Masafumi Hirota  
Department of Micro/Nano Systems Engineering,  
Nagoya University



## はじめに

プラント配管系には、別々の管路を流れてきた流体がT字形の接合部で合流するT字形合流配管が多く使用されている。とくに温度の異なる流体が合流する場合には、混合に伴う温度揺らぎが管壁面に到達し構造物に熱疲労を与えるサーマルストライピングの発生が指摘されている。事実、原子炉の配管系において、合流に起因した高サイクル熱疲労により構造物が損傷した事例も報告されており、その予測と防止はプラントの健全性を確保する観点から重要な課題となっている。

日本機械学会では実験データをベースにした配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針を策定しているが<sup>(1)</sup>、将来的にはCFD(計算流体力学)による高度な熱流動予測が不可欠になると考えられる。一般にCFDの高精度化のためには、管内の熱流動に関する詳細な実験的知見を蓄積し、それを物理モデルの構築に反映させることが重要となる。上記の指針では、典型的なT字形合流配管として第1図に示す2種類を取り上げているが、対向形合流管については直交形合流管に比べて研究例が少なく、



第1図 T字形合流配管

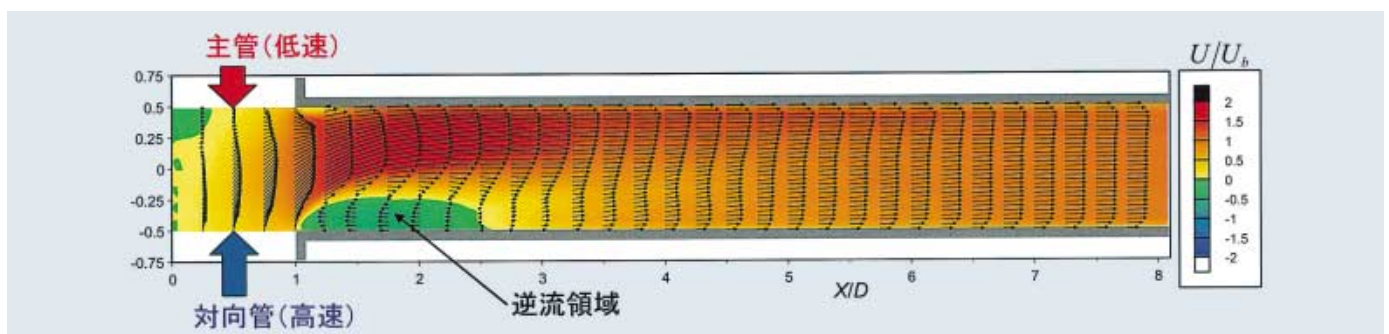
基本的な流動・混合特性についても不明の点が多い。そこで筆者らは、対向形T字合流管内の熱流動について、場の構造や詳細な混合機構の実験的解明を試みている。本稿ではその一部について紹介する

## 実験方法

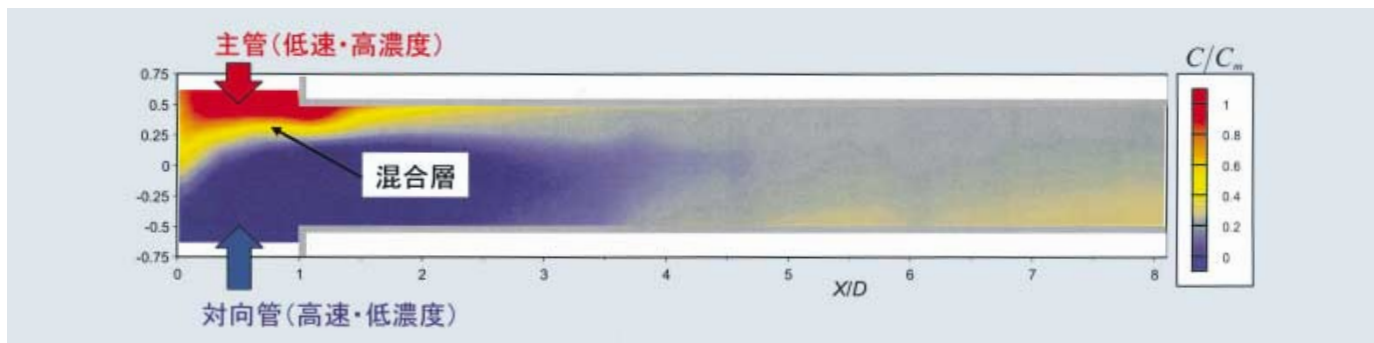
流路系は主管・対向管とそれらに直角に接続された合流管から成り(第1図(a))、全て正方形断面管である。流体は25℃に調整された水であり、主管流と対向管流の流速比を1:3に設定した。いずれの管内流も乱流である。速度の測定にはPIV(粒子画像流速計)を用いた。温度場に関しては、熱輸送と物質輸送の相似性に基づき、主管流体に蛍光染料を溶解させPLIF(平面レーザ誘起蛍光法)による濃度場計測に置き換えて実験を行った。

## 実験結果

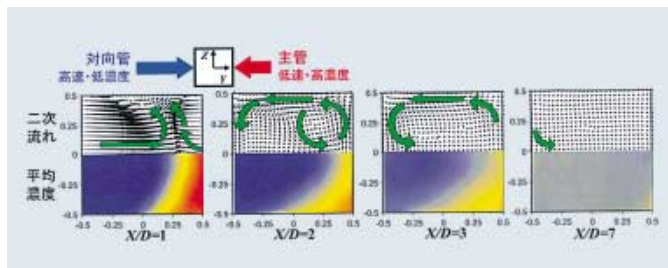
流路対称面で得られた平均速度ベクトルと速度等値線の例を第2図に示す。合流後、流れはT字部エッジで剥離し、対向管側(図の下側)の管壁に沿って逆流領域が現れる。第3図は平均濃度分布であり、高・低温流の合流では平均温度分布に相当する。合流直後では、対向管流の流速が大きいいため、2流体の混合が生じている混合層(黄色部分)は主管側に偏った位置に形成される。しかし合流管の出口付近では、図からはあまり明確ではないが、対向管側に濃度の高い領域が出現しており、合流直後の濃度分布とは傾向が逆転する。



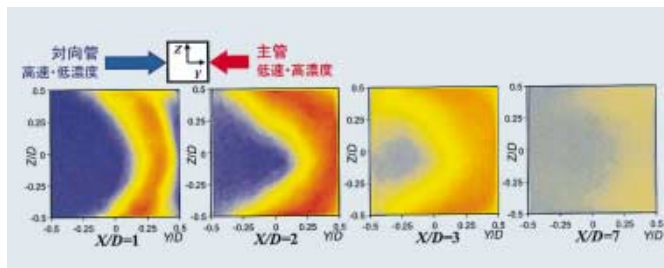
第2図 平均速度分布



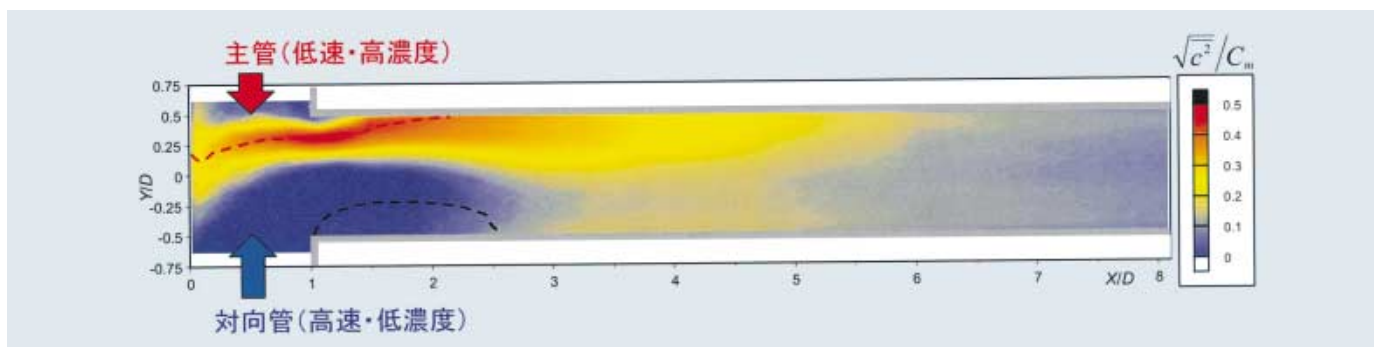
第3図 平均濃度(温度)分布



第4図 管断面内の二次流れと平均濃度分布



第6図 管断面内の濃度変動強度分布



第5図 濃度(温度)変動強度分布

第4図は、合流管断面内で測定した二次流れ(上図)と平均濃度分布(下図)である。合流直後の断面内には大規模な縦渦が形成され、これにより高濃度の流体が主管側から対向管側に輸送されることが分かる。上に述べた下流域における濃度分布の逆転は、こうした縦渦の効果を反映している。

次に、熱疲労の発生に深く関わる濃度変動強度の分布を第5図に示す。濃度変動は混合層で極大値に達することから、温度の異なる2流体が合流・混合することにより温度揺らぎの生じることが改めて確認できる。第6図は断面内の分布である。縦渦により高濃度流体が輸送された結果、濃度変動が高い領域も壁面に沿って拡大していく様子が観察される。

### おわりに

以上のように、高・低温流の合流で発生した温度揺らぎは、縦渦の影響を受けながら管壁に到達し広がっていく。本稿で紹介した流路系は、幾何学的には単純であるが、内部の熱流動場は複雑な3次元構造を有する。実際

のプラント配管系ではさらに複雑な形状を持つ合流配管が用いられるため、熱流動特性の予測は容易ではない。また、本稿のように単純化された系で得られたデータが、実機的设计に直接応用できるとも考えにくい。しかし、合流・混合といった現象の本質を単純な流路系で抽出・解明し、その知見を物理モデルの構築に反映させることで、高サイクル熱疲労の高度な予測と根本的防止策の開発が可能になると思われる。そうした意味で、本稿のような基礎研究の成果が、発電プラントの長期信頼性の向上に資すれば幸いである。

#### 【参考文献】

- (1) 日本機械学会基準S017、配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針

廣田 真史(ひろた まさふみ)氏 略歴

- 昭和63年 3月 名古屋大学大学院工学研究科博士課程 単位取得退学 (機械工学専攻)  
 昭和63年 4月 名古屋大学 助手  
 平成 4年10月 名古屋大学 講師  
 平成 7年 3月~12月 米国カリフォルニア大学バークレイ校 研究員  
 平成 8年10月 名古屋大学 助教授  
 主に乱流熱・物質伝達、気液二相流、ヒートポンプに関する研究に従事。