エネルギーマネジメントを実現する湿り蒸気流量計の開発

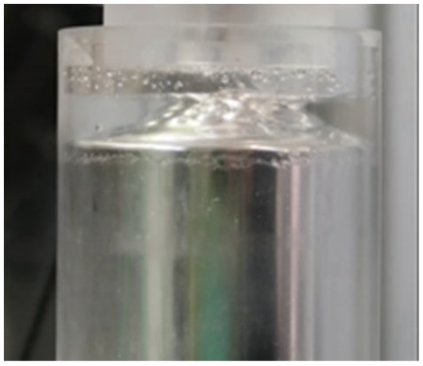
工学研究科　機械工学専攻
准教授　村川　英樹

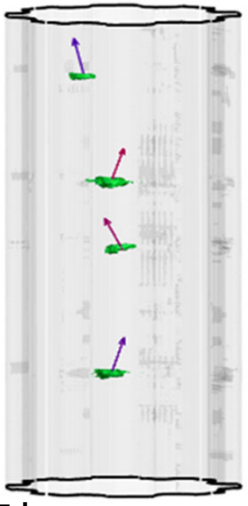
2025年12月10日

プロフィール

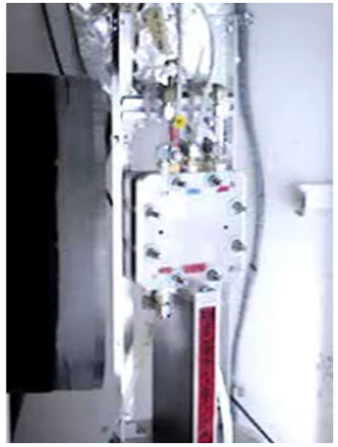
2006年3月　東京工業大学大学院理工学研究科
原子核工学専攻 博士後期課程 修了　博士（工学）
2006年6月～　米国・レンセラー工科大学 (客員研究員)
2007年10月～神戸大学大学院工学研究科 機械工学専攻
ドイツ・ヘルムホルツ研究センター・ロッセンドルフ研究所客員研究員　2018年8月～2019年6月

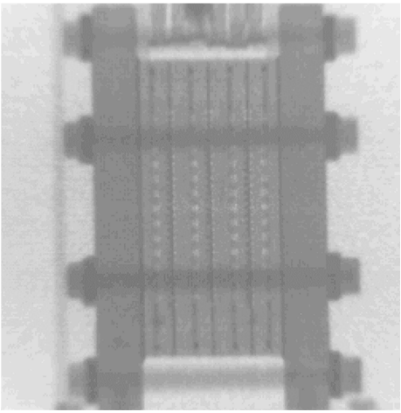
専門分野：熱流体工学（特に，超音波を用いた流体計測技術が得意）





水平磁場印加時の
液体金属中の気泡挙動





固体高分子形燃料電池内の水挙動

磁場印加による
沸騰伝熱促進

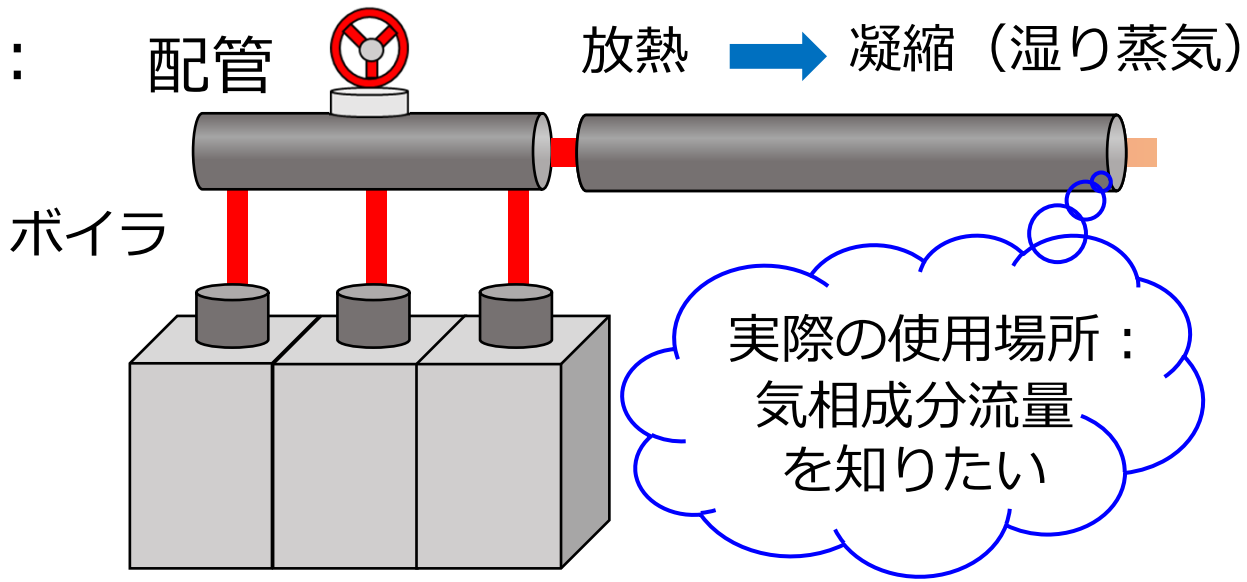
背景

工場でのエネルギー需要の割合：

電気：熱

100：70

熱需要の85%は蒸気で供給



工場での課題：

- ボイラー設置時以降に，配管分岐が行われている
- 配管での蒸気輸送距離が長く，蒸気圧力の低下（湿り）が生じている
- 実際の蒸気使用量が分からないため，過剰な蒸気生供給を行っている
- 配管施工から長期間経過し，断熱不良などが懸念される

湿り蒸気の使用量を「見える化」 ⇨ 既設配管に設置可能な湿り蒸気流量計の開発

無駄なエネルギーの削減・カーボンニュートラルへの貢献

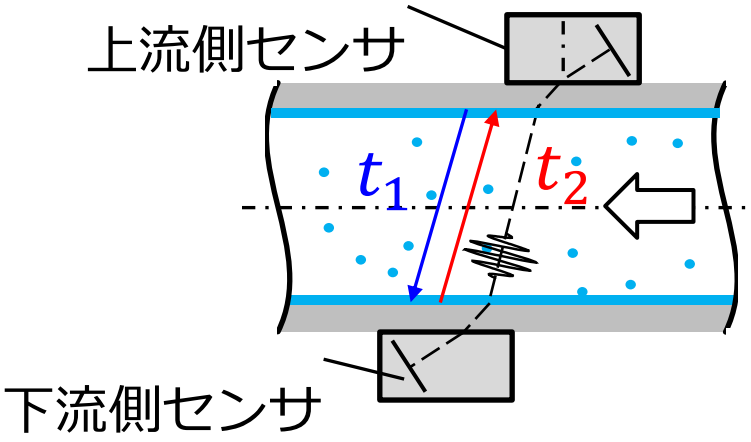
従来技術とその問題点

蒸気流量計：

差圧式，渦式，インライン式超音波　（設置に配管工事が必要）

クランプオン式超音波流量計（配管外にセンサを設置可能）

伝播時間差法(TOF)



$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2DV_L \tan\theta_2}{c_f{}^2 - V_L^2 \sin^2\theta_2}$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot V = \frac{1}{K} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot V_L$$

プロファイルファクタ（PF）

高温(150 ~ 200°C)　：センサ感度の低減

蒸気 (気体)　：信号減衰の増加

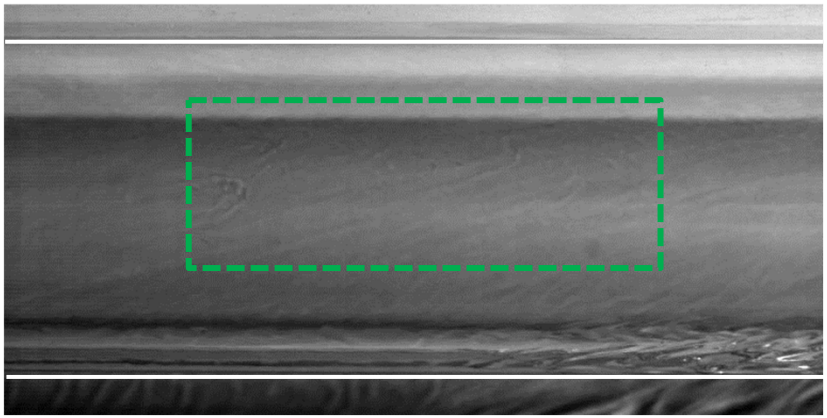
湿り蒸気　：液滴・液膜の存在

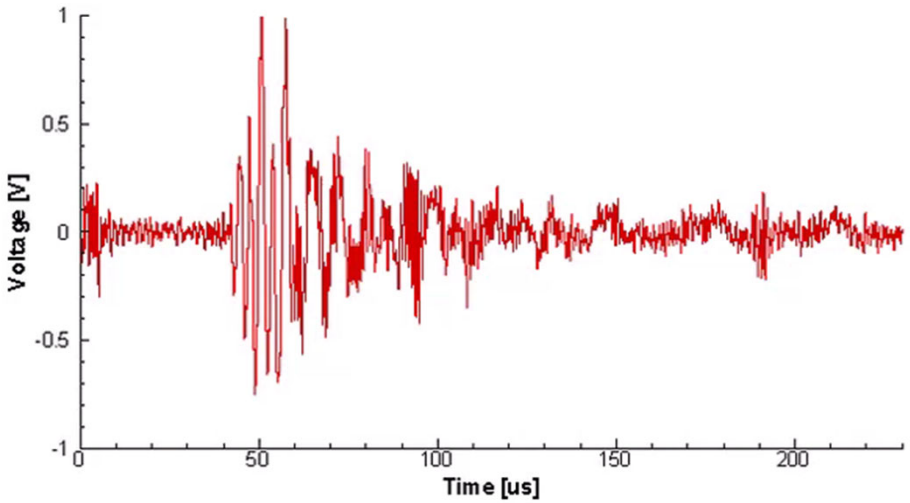
蒸気流量計測が可能なクランプオン式超音波流量計の既存製品：
国内1社，海外1社（2025.11.7 発表者調べ）

どちらも飽和または過熱蒸気のみ（湿り度0%）が計測対象

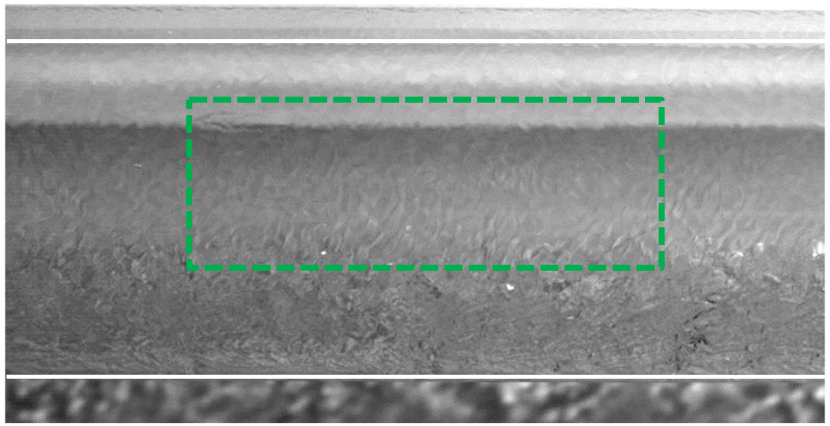
従来技術とその問題点

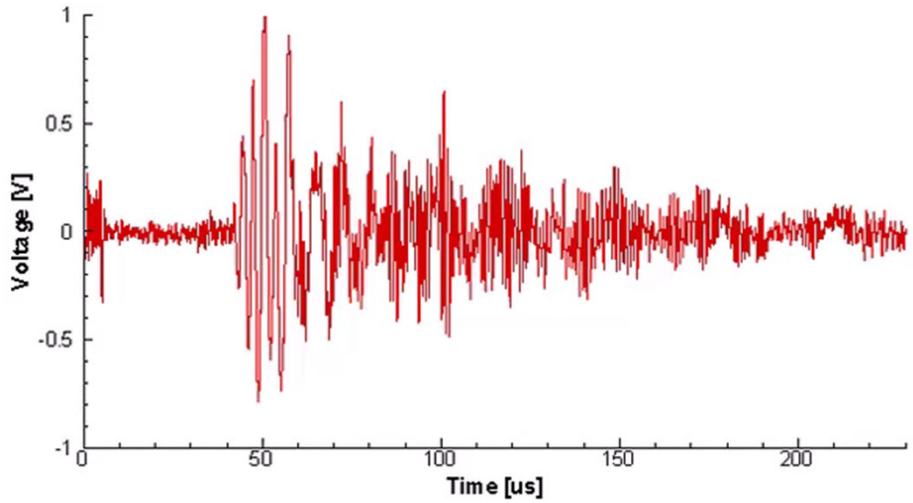
層状流（j_G=11.2 m/s, j_L=0.0030 m/s）





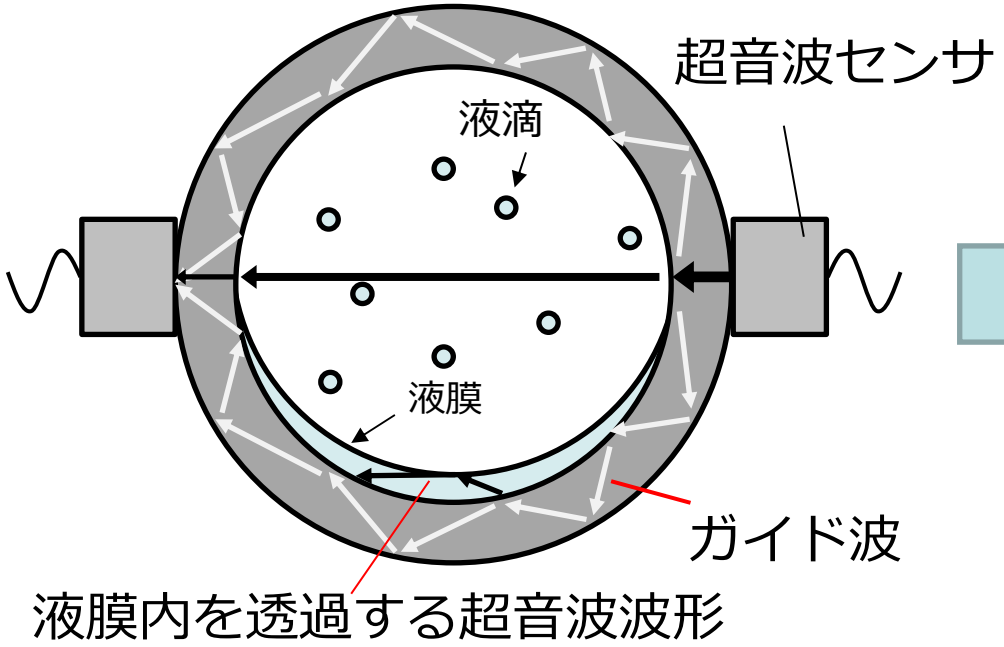
環状噴霧流（j_G=30.1 m/s, j_L=0.0090 m/s）

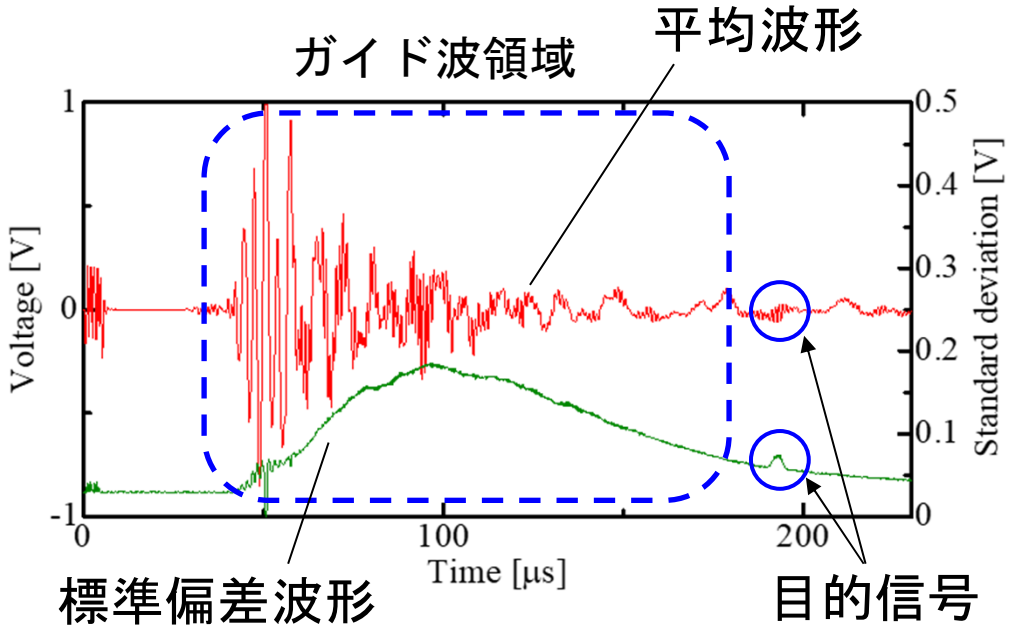




目的信号のS/Nが悪い，液膜・液滴による波形の時間変化

新技術について





- 目的信号のS/Nが悪い　：標準偏差波形では目的信号が顕著

⇩

S/Nの低い条件（低圧力，高湿り度）での流量計測を実現

- ガイド波領域の波形に着目：配管内の流動様式評価

⇩

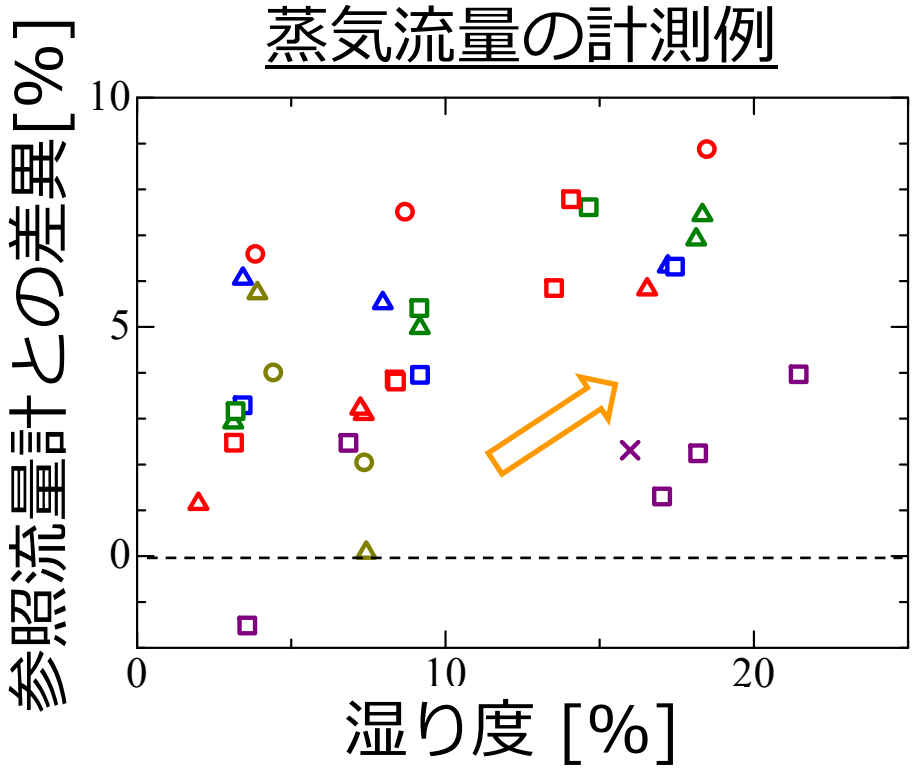
流量計測の誤差予測，湿り度予測を実現

新技術について

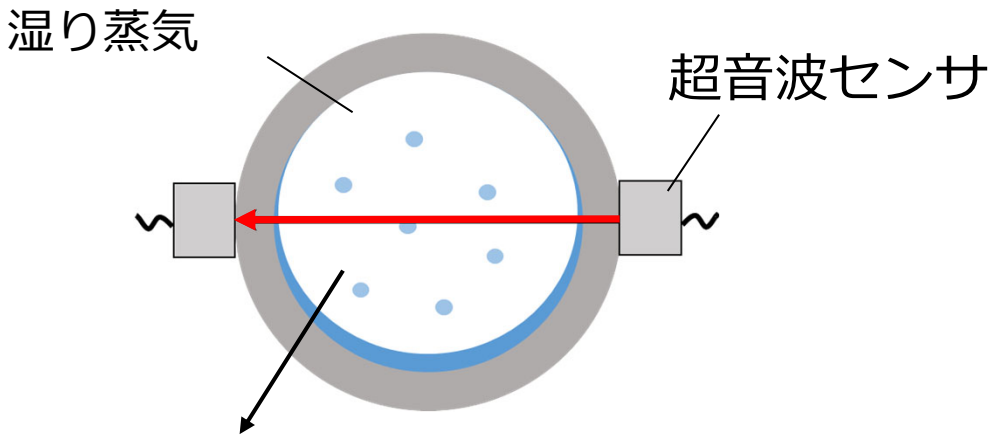
- 0.21 MPa, 30 m/s
- 0.21 MPa, 40 m/s
- 0.33 MPa, 20 m/s
- 0.33 MPa, 30 m/s
- 0.50 MPa, 20 m/s
- 0.50 MPa, 30 m/s
- 0.70 MPa, 10 m/s
- 0.70 MPa, 20 m/s
- 0.70 MPa, 30 m/s
- 0.80 MPa, 10 m/s
- 0.80 MPa, 20 m/s

圧力：0.2～0.8 MPa　SGP65A配管
湿り度：0～20%

蒸気流量の計測例



気相流量を誤差10%以内で計測

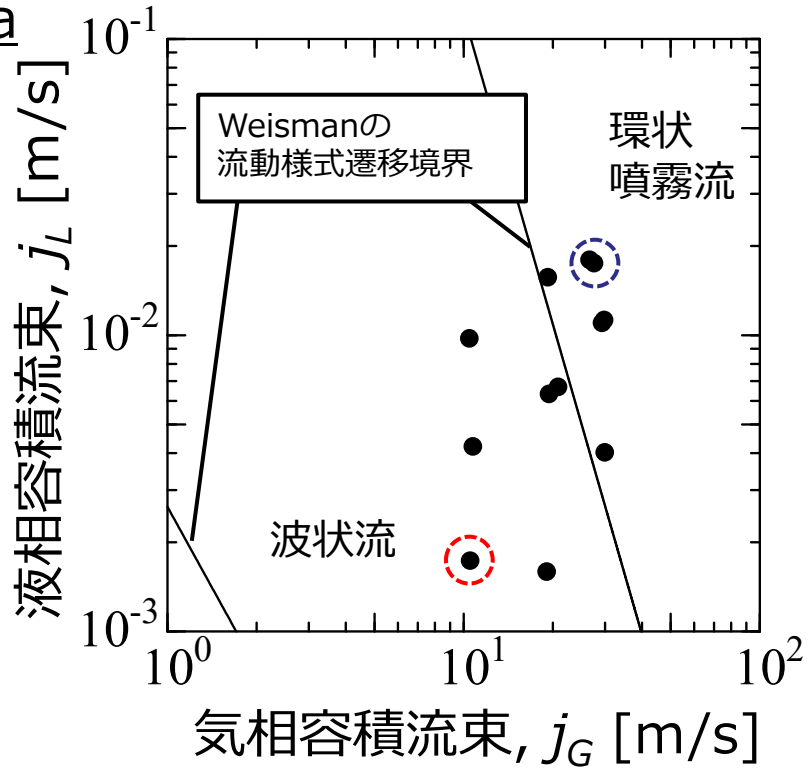


内部の液膜・液滴の存在により，
流速分布（PF）が変化

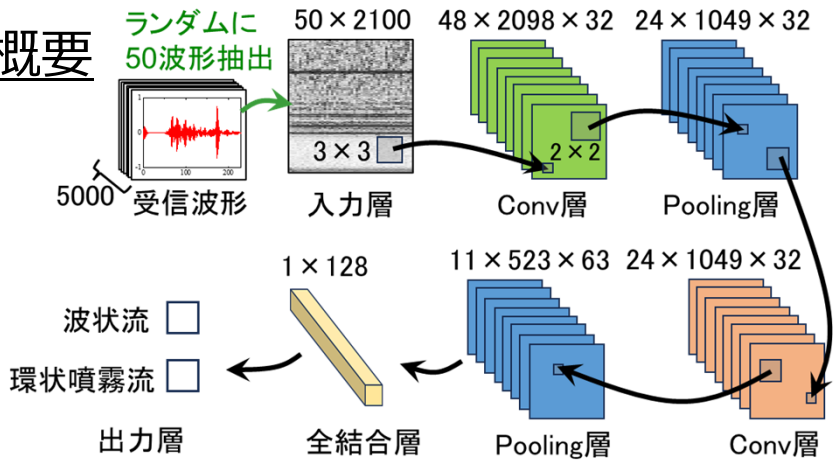
流動様式が分かれば，速度分布の
変化や湿り度が分かるのでは？

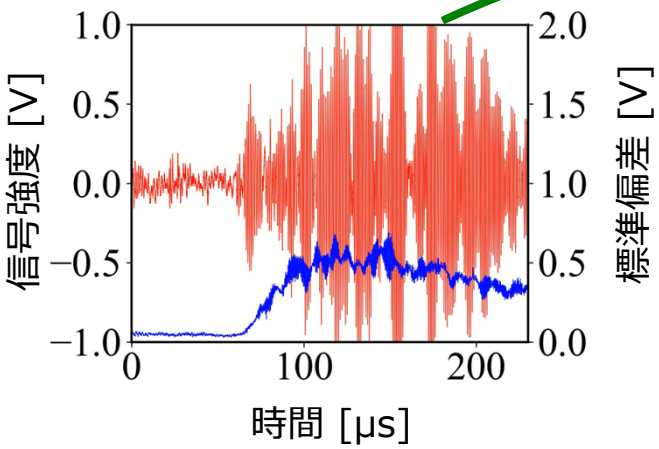
新技術について（流動様式判別）

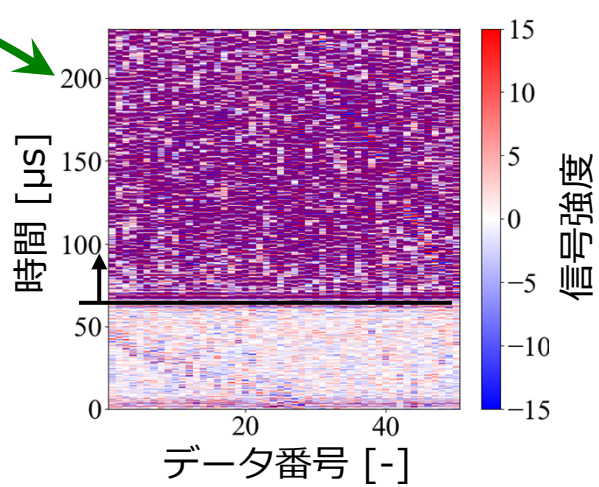
圧力 0.7MPa

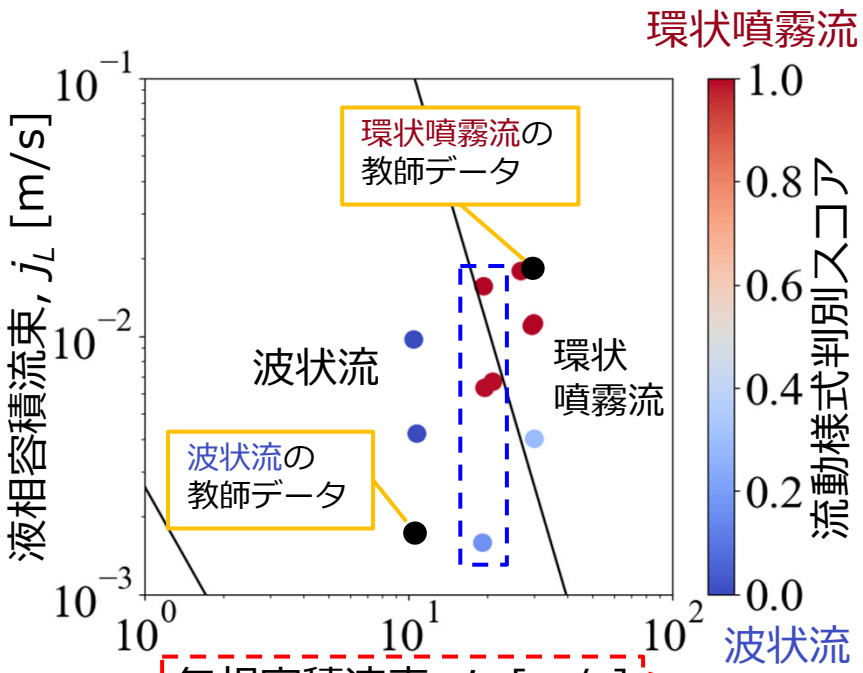


CNN概要





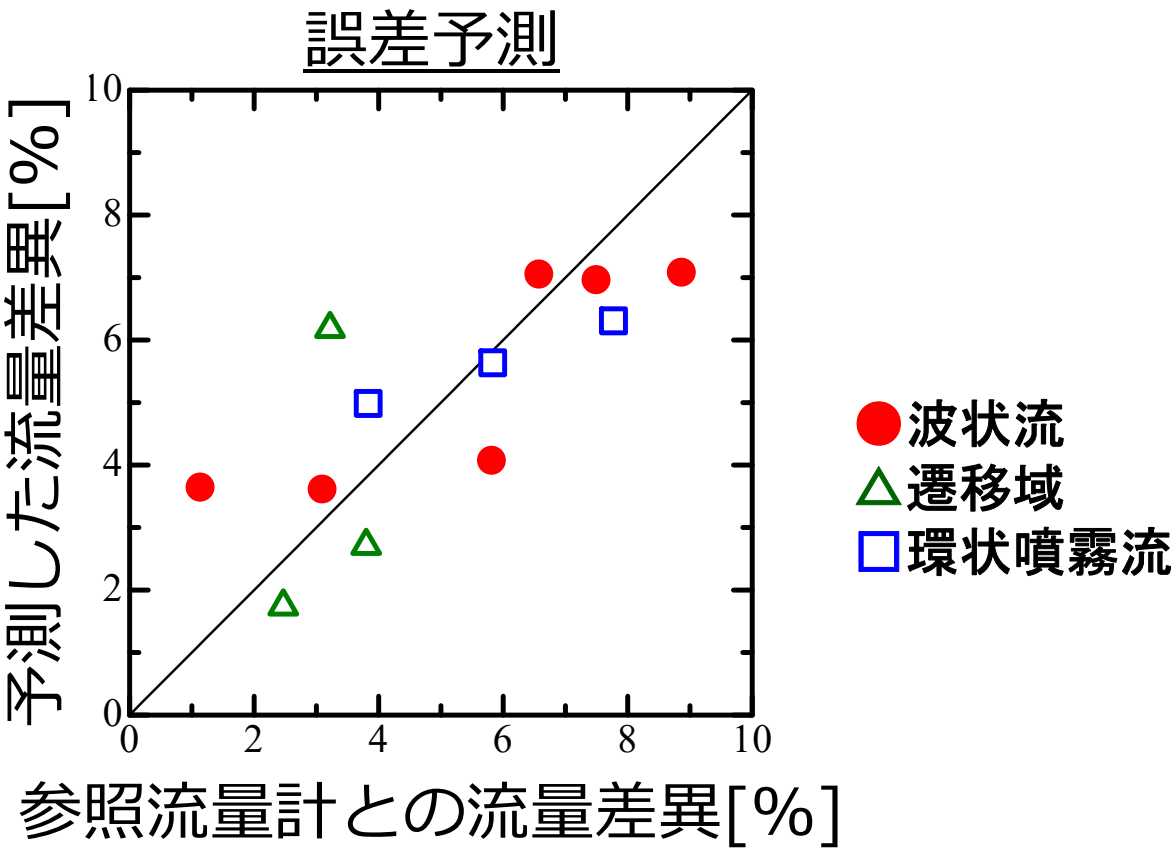


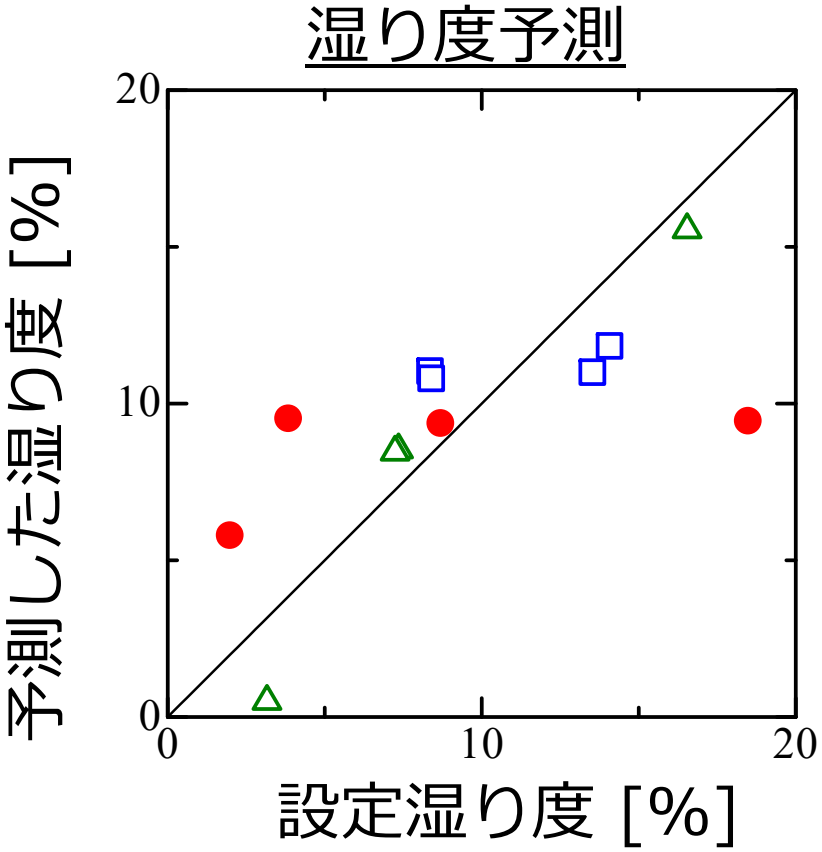


超音波流量計によりおおよそ計測可能

新技術について（誤差，湿り度予測）

気相容積流束と流動様式判別スコアを説明変数とすることで，
誤差と湿り度を重回帰予測





ガイド波領域の波形評価により

- 気相成分の流量を誤差3%以内で評価可能
- 追加の機器無しで，湿り度の評価が可能

新技術の特徴・従来技術との比較

従来：

- 蒸気計測が可能なクランプオン式超音波流量計は非常に少ない．湿り蒸気を正式に計測可能としている製品は，現状存在しない．
- 配管の外から配管内の湿り度を評価する方法は，ほぼ存在しない．

本技術：

- 超音波センサ，配管設置時のダンピング材を改良することでS/Nを向上し，湿り蒸気流計測を実現．
- 波形解析に標準偏差法（特許成立）を導入することで，低圧・高湿り度条件での計測を実現（既存製品で計測不可の条件でも，計測可能であることを確認済み）
- SGP50A，65A配管では多くの条件で検証済み．小口径(SGP25A)配管での計測も可能．
- 超音波の受信波形を機械学習によって評価することで，蒸気成分の流量に加え，湿り度予測も可能

想定される用途

小型・簡易ボイラ（～0.8 MPa，175℃程度）を用いて熱供給を行っている工場において，

- 熱利用時に蒸気流量が把握できていない
- ボイラ設置後に供給配管を分岐している
- 供給距離が長い配管がある

等の場合，蒸気生成量の適切な制御がされていないと，エネルギーの無駄が多く発生している可能性があります．

蒸気成分の流量計測　：適切な蒸気生成量に制御

湿り度予測　　：断熱材施工不良など，エネルギーロスの早期発見

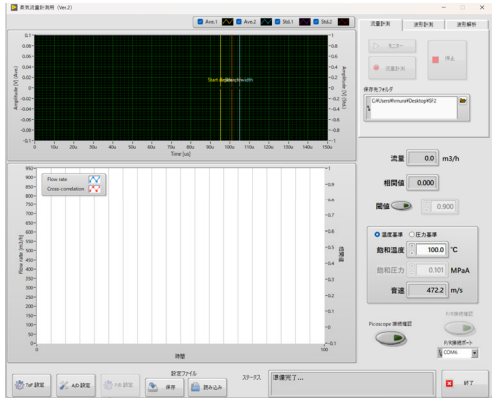
まとめ

- 製品として蒸気流量計の販売
- 自社や関連工場において，省エネや断熱施工確認に活用

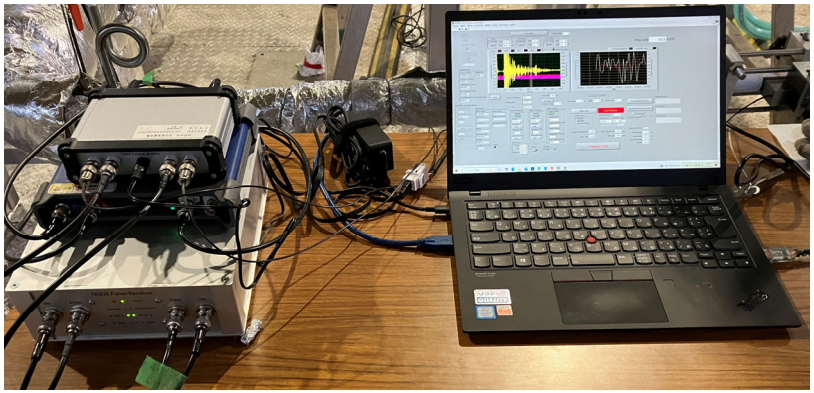
などをご検討いただけたら幸いです．

試作機および自作ソフトウェアをご提供し，御社内で計測可否の試験をしていただくことも可能です．

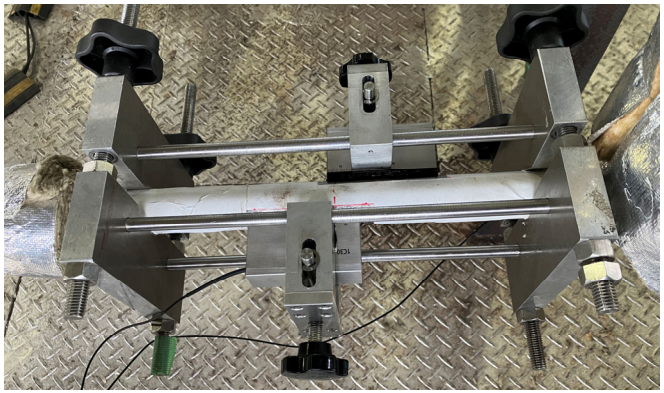
計測用ソフトウェア



計測システム



センサ・固定治具



本技術に関する知的財産権

名称：計測位置判定方法および超音波流量計
番号：特許第7233647号 (2023.2.27)
権利者：神戸大学，東京電力HD
発明者：村川英樹，杉本勝美，市村修平，梅沢修一，杉田勝彦，横坂雅樹

名称：流動様式判別装置、流動様式判別システムおよび流動様式判別方法
番号：特許第7246634号(2023.3.17)
権利者：神戸大学，東京電力HD
発明者：村川英樹，杉本勝美，市村修平，梅沢修一，杉田勝彦，横坂雅樹

名称：超音波流量計、超音波流量計測システムおよび超音波流量計測方法
番号：特許第7264371号(2023.4.17)
権利者：神戸大学，東京電力HD
発明者：村川英樹，杉本勝美，市村修平，梅沢修一，杉田勝彦，横坂雅樹

名称：流量計測手法、プログラム、情報処理装置及び誤差計測手法
番号：特願2024-029044
権利者：神戸大学，東京電力HD
発明者：村川英樹，井樋雅行