



Japan Atomic Energy Agency

未来へげんき
To the Future / JAEA

令和3年度
原子力規制庁技術基盤グループ-原子力機構安全研究・防災支援部門
合同研究成果報告会

さまざまな手法を用いた二相流計測装置開発 の取り組み

令和3年11月2日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
熱水力安全研究グループ

廣瀬 意育

二相流計測機器研究開発

- 当研究室の二相流計測機器・計測手法開発
 - ✓ 既存の実験技術をさらに高度化するための基盤技術研究開発
 - ✓ 二相流を特徴づけるさまざまなパラメータを個別に計測
- 本日は代表として3つの手法を紹介

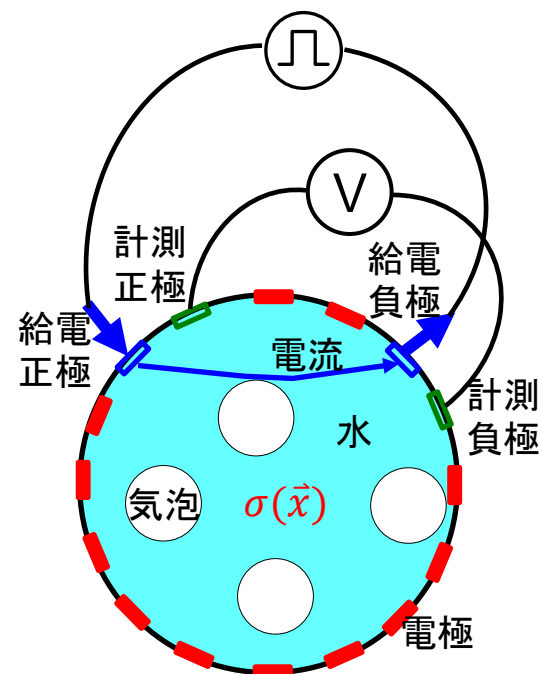
手法	計測対象
電気インピーダンストモグラフィ法(EIT)	気相空間分布推定
超音波伝搬法	液膜厚さ計測
ダブルセンサプローブ	気泡速度計測

EITによる気相分布計測(1/2)

● 原理

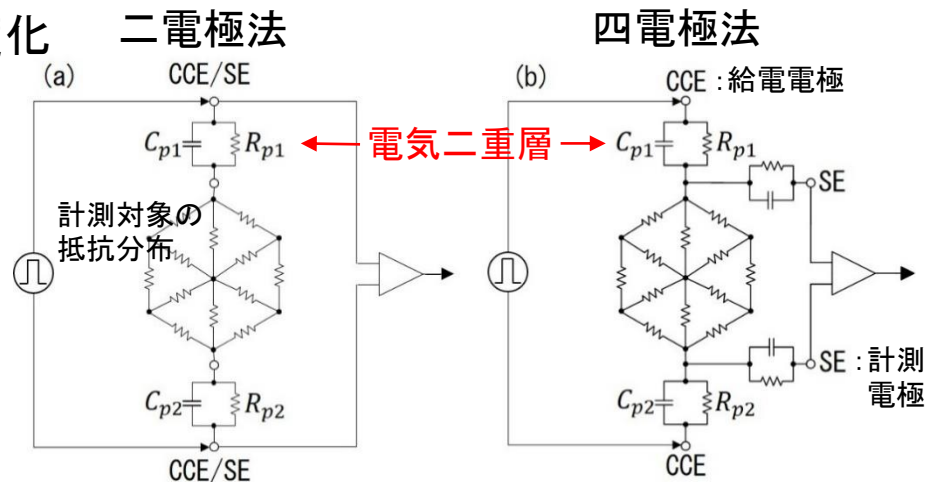
1. 配管内壁に多数の電極を配置
2. 選択したペア電極間に給電・電位差計測
3. 2を多くのペア間で行い、電位差パターンを取得
4. 逆解析により導電率分布を推定:

$$\vec{\nabla} \cdot \{\sigma \vec{\nabla} V\} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma = \sigma(\vec{x}): \text{導電率分布 (未知)} \\ V: \text{電極間で計測される電位差 (既知)} \end{array} \right.$$



● 課題と工夫

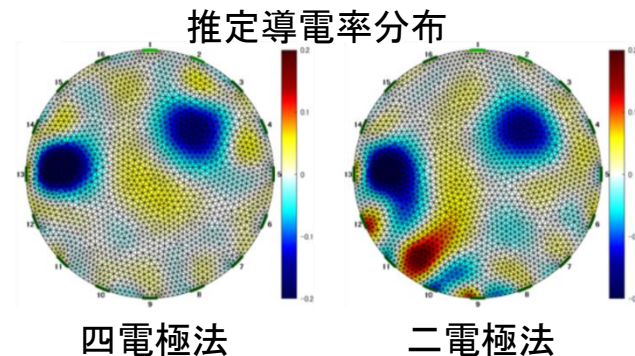
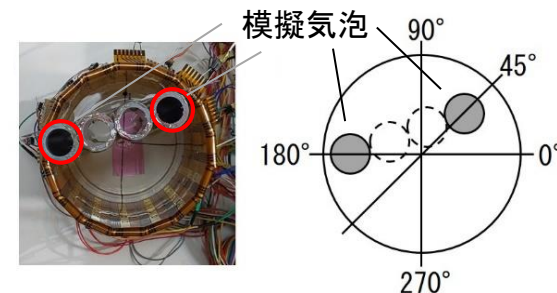
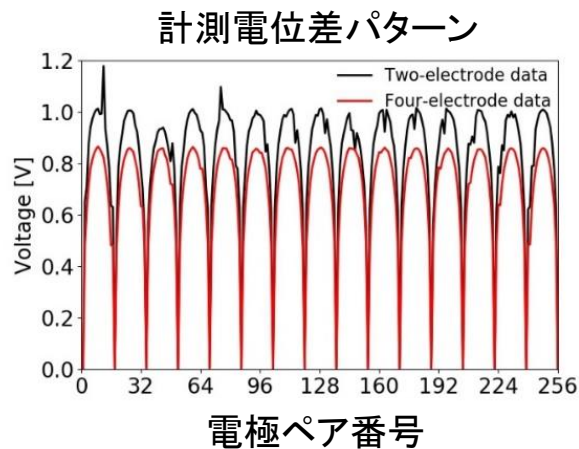
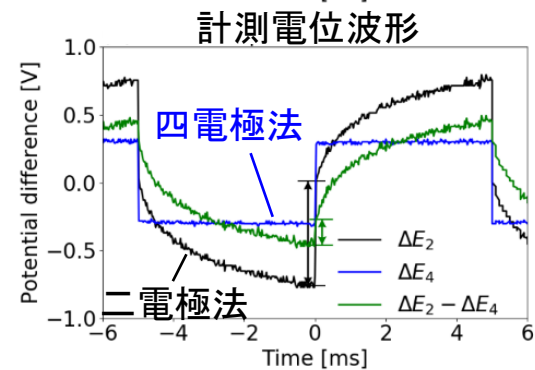
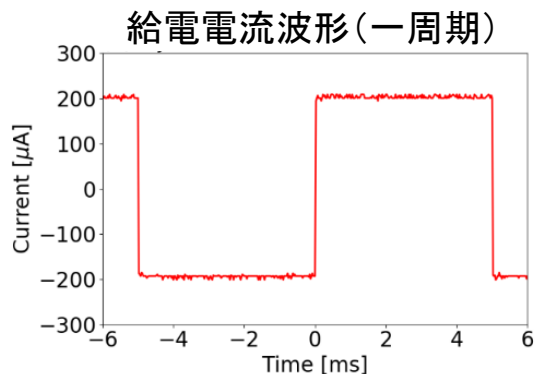
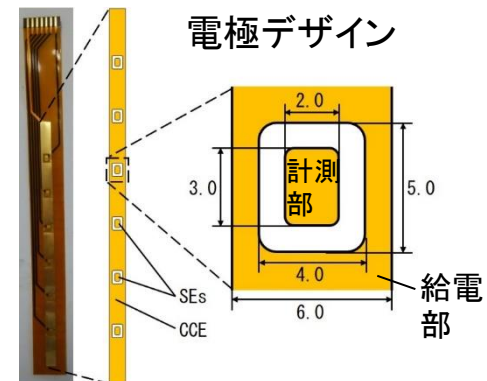
- ✓ 電気二重層の影響
 - 四電極法の採用
- ✓ 素早い電極切り替え
- ✓ 電位差計測(回路)の簡易化・高精度化
 - パルス状電流による給電
- ✓ 電荷蓄積による分極
 - 電位計測シーケンスの工夫



EITによる気相分布計測(2/2)

● 成果

- ✓ 理想的な電位差波形・パターン取得に成功
- ✓ 導電率分布の推測結果に有意な改善



超音波による液膜厚さ計測(1/2)

● 目標

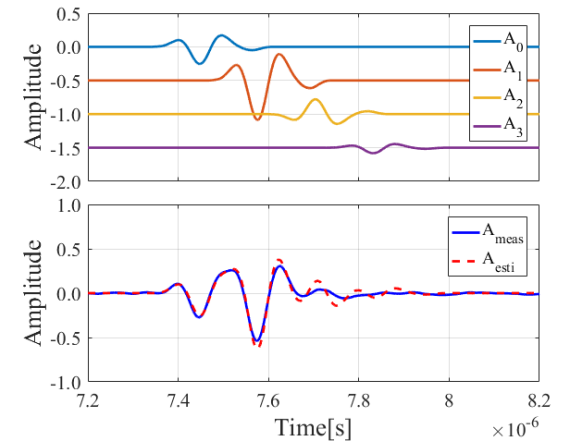
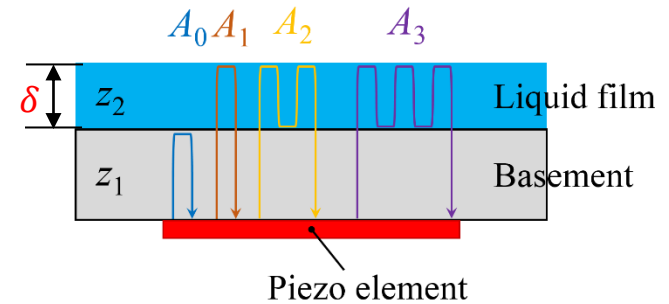
- ✓ 0.1 mm以下の液膜厚さを計測

● 原理

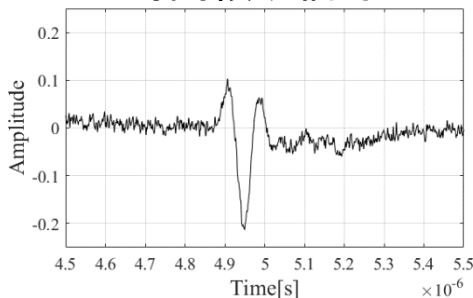
- ✓ 固液界面からと気液界面からの反射信号の伝搬時間差を利用

● 課題と工夫

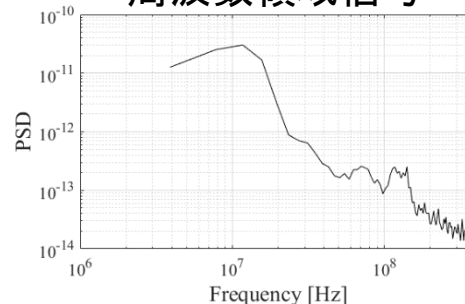
- ✓ 高周波・パルス状の信号形成
 - 送受信素子(駆動回路)開発
 - チタン酸ジルコン酸鉛(LZT)
 - 共振周波数15MHz
- ✓ 受信信号から液膜厚さを推定
 - 多重反射を考慮して液膜厚さを推定



時間領域信号



周波数領域信号



$$A_{esti}(t) = \sum_{i=0}^N A_i \left(t - \frac{2\delta}{u_s} i \right)$$

音響インピーダンスから決まる振幅

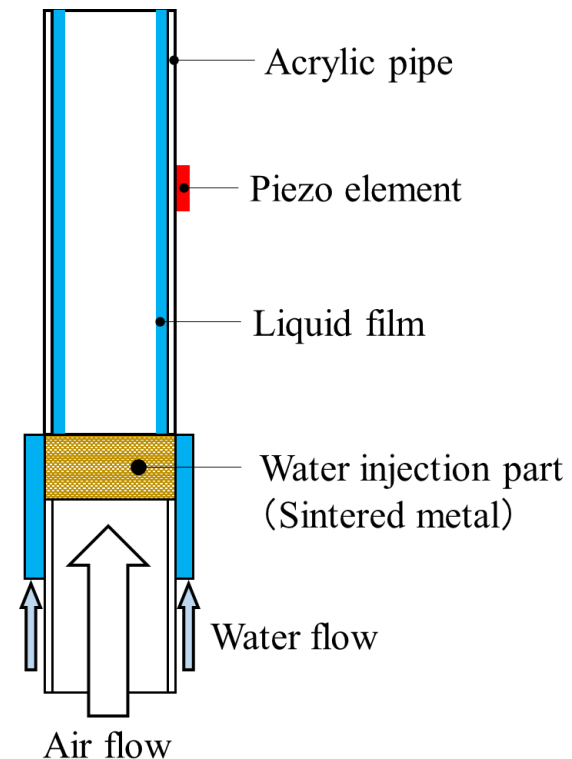
超音波による液膜厚さ計測(2/2)

● 実験装置

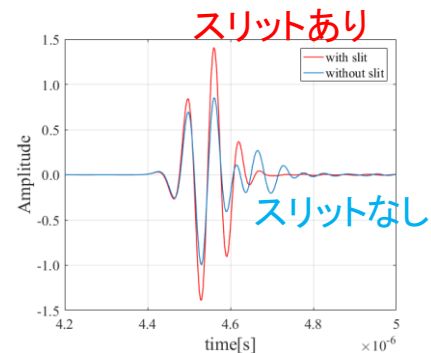
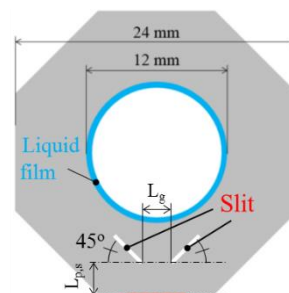
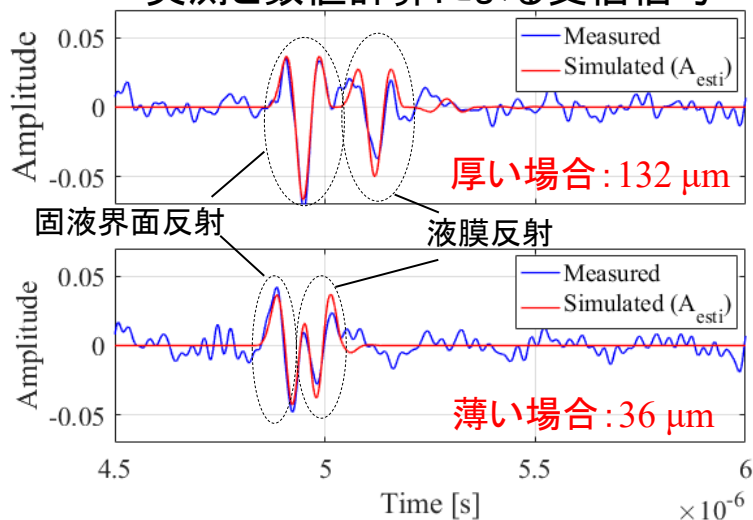
- ✓ 垂直配管内に上昇環状噴霧流を形成
- ✓ 管壁にアクリルピースを介して送受信素子を配置
- ✓ ノイズ低減のためのスリット

● 成果

- ✓ 0.1 mm以下の厚さを正確に計測できることを確認
 - 簡易体系での実測検証
 - 環状噴霧流で実測と数値計算との比較検証



実測と数値計算による受信信号



ダブルセンサプローブによる気泡速度計測(1/2)

● 原理

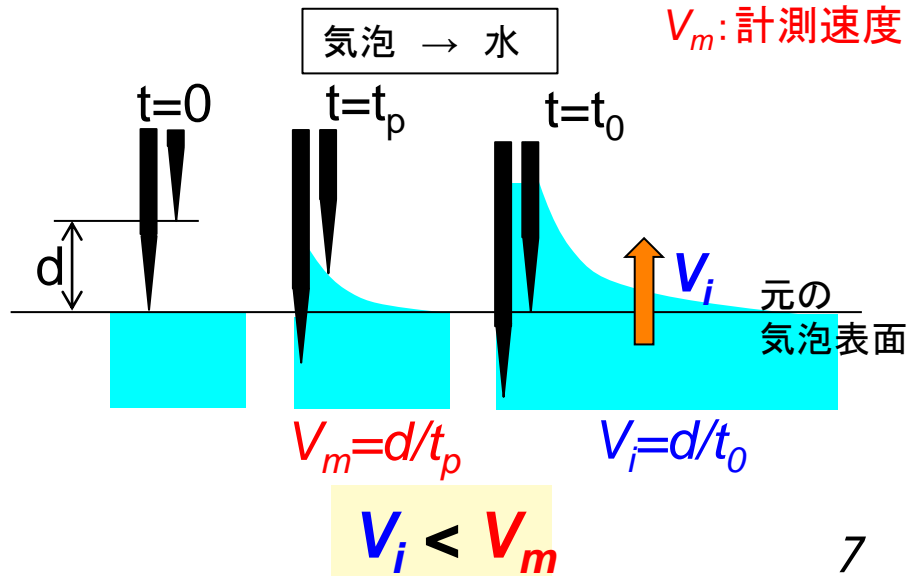
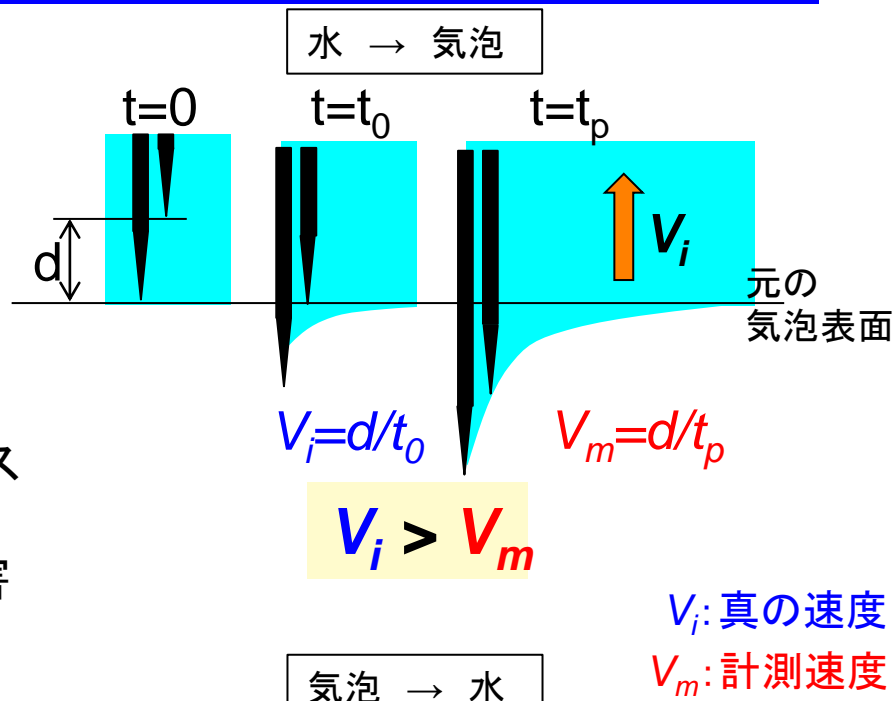
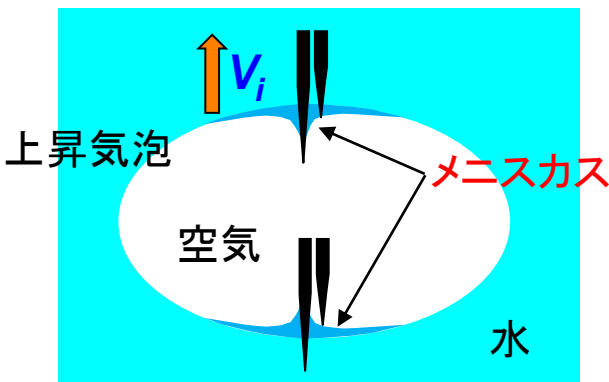
- ✓ 高さが異なる2本の探針で、上昇流の抵抗値を連続計測
- ✓ 抵抗値の急変時刻の時間差から気泡速度を算出

● 問題点

- ✓ 気泡貫通の際、探針の周りにメニスカスを形成
- ✓ 気泡の形状が歪み、正確な計測を阻害

● 課題

- ✓ メニスカスの影響を補正した速度算出



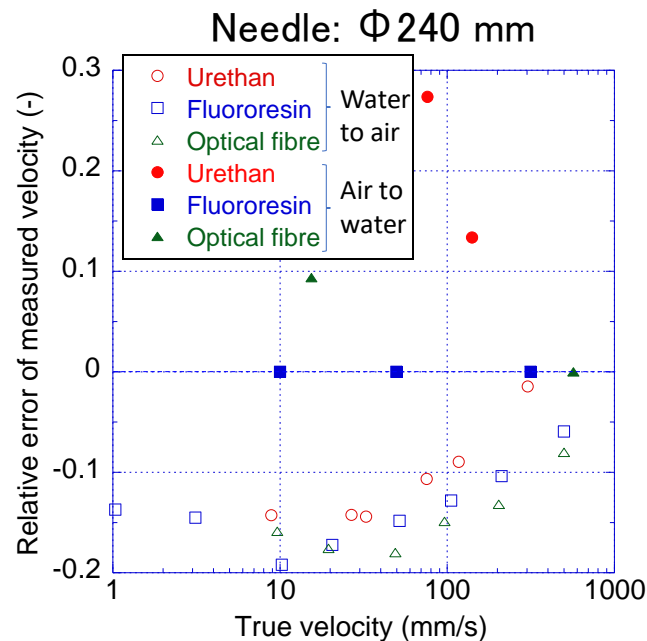
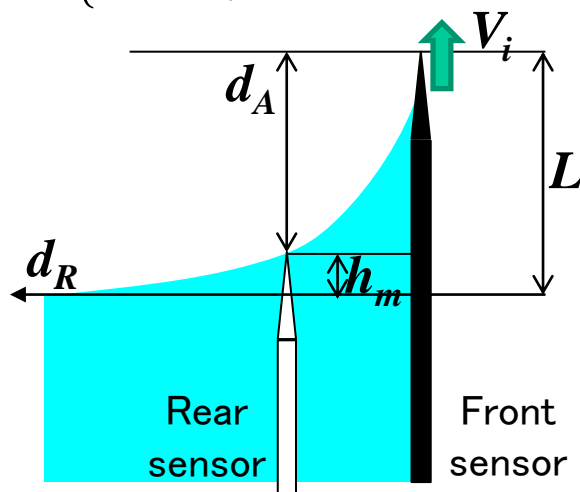
ダブルセンサプローブによる気泡速度計測(2/2)

● 成果

- ✓ 気泡上層速度の相対誤差 E_m をさまざまな条件で実測
 - 針の材質、サイズ、相対距離、傾き角度

- ✓ 誤差の系統的な傾向から、気泡速度を補正する手法を確立

$$E_m = \frac{|V_m - V_i|}{V_i} = \begin{cases} \frac{h_m}{d_A + h_m} & (\text{water to air penetration}) \\ -\frac{h_m}{d_A + h_m} & (\text{air to water penetration}) \end{cases}$$



まとめと今後の課題

- 当グループにおける二相流計測装置・手法の研究開発の現状を紹介した
- 各テーマの成果と今後
 - ✓ EIT
 - 計測装置と手法の工夫により、導電率分布推定成否の最重要要因である電位差パターンを高精度に取得できるようになった
 - 解像度向上のための工夫
 - 実体系での計測
 - ✓ 超音波
 - 0.1 mm以下の液膜厚さを正確に計測する装置と手法を確立
 - 高温・高圧化での計測(素材特性考慮)
 - さまざまな対象(水平・斜め配管など)への適用
 - 液膜厚さ計測以外の用途も検討
 - ✓ ダブルセンサプローブ
 - メニスカスの影響を補正して正確に気泡速度を算出する手法を確立
 - 4センサプローブによる、より精密な3次元的气泡速度計測