

時刻ずれか、実際の水素損失か

対象を限定したシミュレーション研究（2～3か月）・テオドル・ディモフ（トラキア大学）・v1.4（2026年10月21日）・計画中・調整中（未確定）

2. 研究課題

研究課題（1件）：時刻ずれ（時計の誤り）は、どの条件で実際の水素損失（漏えい）と区別できるか。また、時刻の不確かさを考慮する判定法は、誤警報率を等しくそろえた場合に、検知をどの程度改善するか。

項目	内容
対象システム（1つ）	蓄圧器 → ディスペンサー配管の供給区間と、その流量・圧力・温度の計測および漏えい判定ロジック（シミュレーション）
主要成果物（1つ）	再現可能なベンチマークを拡張した技術報告書（コード、パラメータの根拠、不確かさの分析、失敗事例を含む）
本研究の貢献	時計の誤り・遅れて届くパケット・物理的な計器の遅れを区別し、漏えい検知の性能（見逃し、検知までの時間、損失質量、不要な停止）を誤警報率をそろえて定量化する、前提と限界を明示した評価手順
認める結論	区別できる条件の特定、または、利用できる計測では区別できないという否定的な結果
対象外	実設備・実車両への接続、特定製品の脆弱性、攻撃手順の詳細、事業者の機密データ

3. 方法

- **物理モデル：**配管内の保有量（ラインインベントリ）を含む質量収支 R_W を、配管容積 V 、圧力 P 、温度 T と実在気体の密度式（Abel-Noble 式、NIST の値との差は約1%以内）で表します^{[88][89][90]}。流量計・温度計の応答遅れ（一次遅れ）を含めます。
- **時刻の不具合の区別：**時計の誤り（オフセット・ドリフト）、遅れて届くパケット（タイムスタンプは正しい）、物理的な計器の遅れを別々にモデル化します。正・負のオフセット、ドリフト、ジッター、通常の故障（計測値の固定、計量器の誤差の段階変化）も扱います。
- **判定法：**流量のみの単純な基準（A0）、インベントリ補正（A）、時刻の不確かさの上限を考慮する判定（B）を比較します。しきい値は、別の乱数の種・別のステーションの漏えいのない充填で、誤警報率が同じ値（例：1%）になるよう**事前に**校正します。計量器の誤差は計器ごとに固定し、同じステーションの充填間で変えません。
- **評価指標：**模擬漏えいを注入し、見逃し、検知までの時間、損失質量、不要な停止（漏えい開始前の停止を含む）を、誤警報率をそろえて比較します。検知確率と誤警報率の関係（ROC）も示します。
- **区別可能性マップ（仮説・方法）：**漏えいの大きさ × 時刻ずれの格子で、各充填を「漏えい」「漏えいなし」「情報不足」に分類し、圧力・温度や独立した時刻参照を加えると何が変わるかを示します。
- **受入れ先が条件を定めるブラインドテスト（計画）：**判定アルゴリズムとしきい値を凍結し（コードのハッシュ値を記録）、受入れ先が提案者に知らずに設定した充填プロファイル（漏えいの有無・大きさ・開始時刻、時刻ずれ、故障）で評価します。各手法を、事前に校正した等しい誤警報率で比較し、失敗した条件も含めてすべて報告します。実施の可否と担当者は受入れ先と協議します。
- **不確かさ：**Wilson の95%信頼区間は有限回の試行による統計的な不確かさのみを表し、モデルの誤りは含みません。感度分析（1因子ずつ、OFAT）は因子間の相互作用を評価しないため、主要な組合せを追加で確認します。
- **再現性：**乱数の種、パラメータ、コード、期待される出力を公開し、Python版とJavaScript版で同一の結果が得られることを確認します（v1.4 で確認済み）。

4. 予備結果（例示モデル）と限界

公開したベンチマーク v1.4 の結果です（各条件400回の充填、50ステーション、すべての手法を誤警報率1%以下に事前校正）。実設備の性能を示すものではなく、研究の出発点として位置付けます。

- **時刻ずれなし：**誤警報は A0 0.75%、B 0%。2%の漏えいの検知は A 280/400、時刻の不確かさを考慮する B2 は 66/400 で、時刻ずれがなければインベントリ補正（A）が最も良い結果でした。誤警報率1%での検知確率（ROC）は、2%漏えいで A 70.8%、B2 16.5%、5%漏えいで A 100%、B2 80.8%。
- **時刻ずれあり：**+0.1 s で A の誤警報は 77%、B2 は 0%。+0.3 s では A は 400回中386回で漏えい開始前に停止し（不要な停止）、B2 は 5%の漏えいを 318/400 検知しました。
- **区別できない条件：**宣言した上限を超えるずれ（0.5 s 以上）、ドリフト、物理的な計器の遅れ（時定数 1.0 s）では、どの手法も誤警報がほぼ100%で、流量だけでは時刻ずれと区別できませんでした。圧力計の値の固定では、インベントリ補正を使う手法の誤警報が 97～100%に増えます。
- **区別可能性マップ：**流量のみでは漏えいがなくても 10～23%が「漏えい」と判定され、圧力・温度を加えると 0.2 s 以上の時刻ずれはほぼ常に識別されましたが、漏えいのない充填の 3～15%は依然として「漏えい」と判定されました。独立した時刻参照の追加効果は、この例示モデルでは小さい結果でした。

- **流量の大きさは打ち消し合うか：** 厳密には打ち消し合いません（インベントリ項と絶対雑音が流量に比例しないため）。ただし、影響は小さい結果でした。
- **限界：** 計量器の最大許容誤差 1.5%は OIML R 139-1 のクラス2の**計量器**の値で、計量システム全体では検定時 2%、使用中検査時 3%です^[76]（感度分析で使用）。誤差と雑音の分布は本モデルの仮定です。出典〔65〕は電力系統における時刻同期攻撃の研究であり、水素設備で 0.2 s などの閾値を示すものではありません。時刻ずれの値はシナリオとして与えたものです。

6. 作業計画（8週間）

期間	作業	成果・判断点
着任前	受入れ条件、指導体制、データと公表のルール、安全教育の確認	滞在計画
第1週	前提の確認（対象区間、計測構成、パラメータの範囲）、ベンチマーク v1.4 の再現	前提の記録
第2～3週	前提に合わせたモデルの修正、時刻の不具合と通常の故障の注入	コードと検証用テスト
第4週	判定アルゴリズムとしきい値の凍結（等しい誤警報率で事前校正）	凍結版（ハッシュ値を記録）
第5週	受入れ先が条件を定めるブラインドテスト	ブラインドテストの結果（失敗を含む）
第6週	区別可能性マップ、感度分析、失敗事例の整理	不確かさの報告
第7週	執筆	報告書の草稿
第8週	修正とセミナー	主要成果物：技術報告書、セミナー資料

12週間の計画は全文の第6章を参照。

7. お願いしたいご支援

石原所長ご自身に、水素ステーションの計量についてのご専門を前提とするものではありません。お願いしたいのは次の点です。

- **前提の確認：** 計測構成、充填プロファイル、計器の応答時間、配管容積の範囲について確認いただける研究者（所内、または所外の専門家）のご紹介。
- **ブラインドテスト：** 提案者に知らせずに評価条件を設定いただける担当者（研究室の学生・研究員でも可）。
- **報告書の確認：** 公表前に、前提と結論の書き方について確認いただくこと。
- **滞在の条件：** 受入れ上の身分、指導体制、期間についてのご相談。

本サイトは提案者による研究構想の紹介であり、九州大学または¹2CNERの公式見解、承認済みの共同研究、支援の決定を示すものではありません。全文・ベンチマーク：<https://uniquessupernova.com/ja-i2cner/>