

NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.B1-6

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業
／国際展開、国際標準化等に関する研究開発
／水素供給インフラに係わる技術基準等検討のための調査研究

松木 亮（産業技術総合研究所）
国立研究開発法人産業技術総合研究所
N T Tアノードエナジー株式会社
豊田通商株式会社
2023年7月13日

連絡先：松木 亮
産業技術総合研究所
E-mail: a.matsugi@aist.go.jp

事業概要

1. 期間

開始：2022年7月

終了：2023年3月

2. 最終目標

水素大量消費社会の成立に向けて大きな課題となる輸送分野において、安全且つ安価な水素輸送インフラとしてのパイプライン輸送の事業化を検討し、経済性や安全性などの課題を解決し、地域におけるパイプラインによる水素供給手段の確立を目指す

3. 成果・進捗概要

2重配管方式の水素輸送を対象として①安全性評価、②技術課題の検討、③経済性評価を行った

- ① 二重配管の中空層に水素が漏洩し着火した場合の火炎伝播等の挙動を評価した。安全性評価の課題として、着火時の影響度に関する詳細な評価を行う必要があることが抽出された。
- ② 実証環境を構築し、中空層に漏洩した水素をファイバーセンシング等様々な手法を用いて検知可能であることを確認した。複数の検知手法の特性を踏まえ、漏洩に対する有効性の確認、安全性と経済性を両立させる設置条件の検討、水没対策等を行うことが必要あるなどの課題が抽出された。
- ③ 実証の設備構成における各種コストを検証し、中低圧による中距離・中規模の水素供給モデルを設定して他輸送手段との比較を行い、パイプライン輸送の経済優位性が確保できる境界条件を把握した。一般化及び社会実装に向けて、技術面、事業面の課題等を整理した。

1. 事業の位置付け・必要性

現状、水素のパイプラインによる輸送は**敷設（特に埋設）コストが高く、経済的成り立ちが課題である**

一方で、安定的且つ大量な需要があり、近距離での輸送効率が高い（工場・コンビナート内の輸送手段としては多用されている）

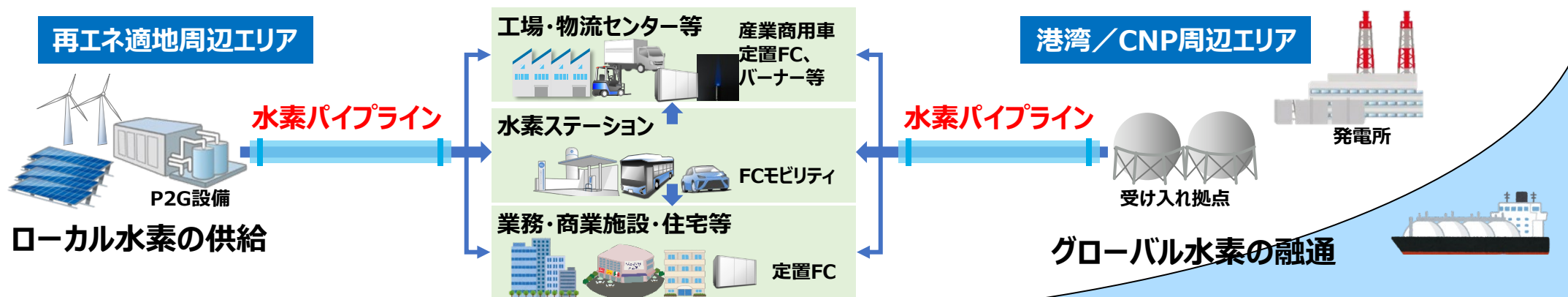
需要増加

- 将来、国内での水素利用が大量化・安定化する場合、その輸送手段として、**コスト・環境性の両面からパイプラインが有力となる可能性**がある。
- 一定地域内での水素製造～利用モデル、ステーション等の整備の進展に合わせた域内輸送、国際水素サプライチェーンの商用化に伴う臨海部での**ローカル水素ネットワーク**の形成の可能性が有る。

水素大量利活用時代を見据えて、既存の地下インフラ（通信・上下水・共同溝 etc）を活用した水素パイプラインの安全性確保及び経済成り立ちの評価に取り組む

- ✓ **安全性確保**：既存インフラへの様々な影響、安全性調査と安全策検証のための技術情報の取得
水素漏洩検知・監視システム・着火挙動等の評価・検証
- ✓ **経済成り立ち**：既存インフラを用いることによるパイプライン埋設コストの大幅な低減効果を評価
単位コストの明確化、展開要件・将来の事業モデル検討

将来の事業モデルイメージ



2. 研究開発マネジメントについて

本事業は、2重配管方式水素パイプラインの社会実装のための基本検討として、構築した管路モデルにおいて、安全性を含む技術課題および経済成立性に関する各種検討を実施し、パイプラインによる水素輸送の基本設計を完成させるための課題を抽出する取り組みである

本事業(2022) :

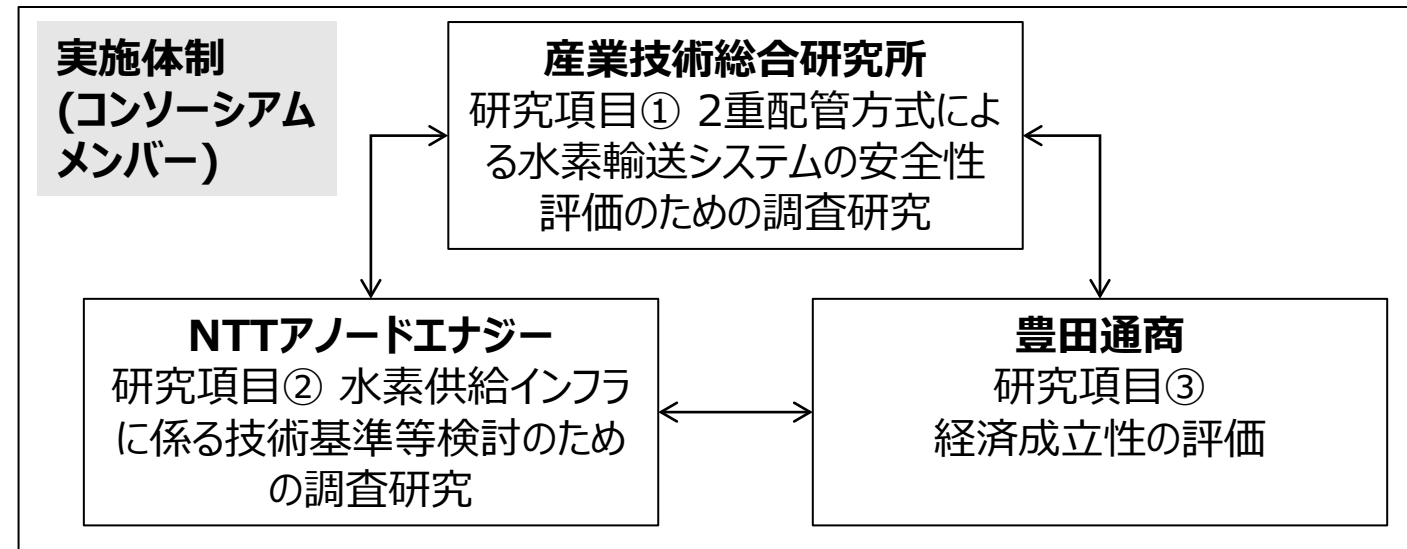
- ・管路モデル構築
- ・水素漏洩/異常予兆、施工法等検討
- ・安全性評価のための基礎調査
- ・経済成立性評価

今後 :

- ・試験環境構築
- ・水素漏洩シナリオに基づくリスク評価
- ・水素センサーの性能・健全性調査
- ・配管材調査
- ・漏洩対応動作とリスク低減策の検証
- ・運用管理体制等整備
- ・水素検知手法の高度化
- ・経済成立性評価
- ・安全対策取りまとめ
- ・技術基準等提案

- ・実フィールド実証
監視システム運転テスト/データ収集

専門性の異なる3者が連携し、各種調査・評価を確実に達成可能な体制、ならびに実運用レベルの業務を遂行可能な体制を構築し、本事業に取り組む



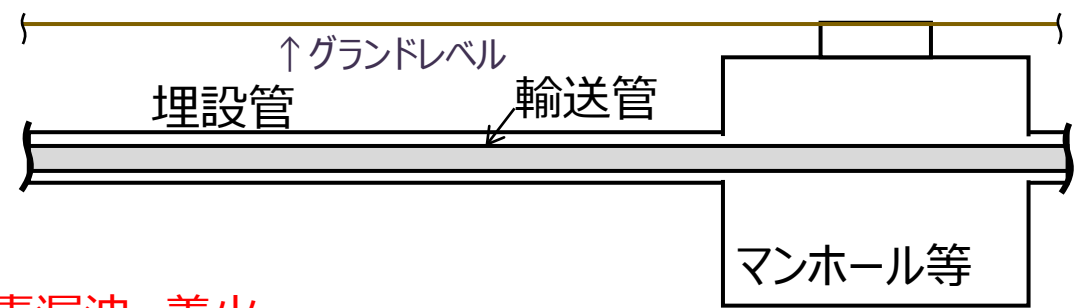
3. 研究開発成果 (① 2重配管方式による水素輸送システムの安全性評価のための調査研究)

二重配管形式による水素輸送システム

輸送管が埋設管に保護される構造

安全面での利点：間隙にセンサを設置することで水素の漏洩を直接検知することが可能

特有の課題：埋設管内やマンホール等の地下空間内への水素漏洩、着火
特に、二重配管における中空層への水素の漏洩拡散挙動と着火時の火炎の挙動が未知であり、影響度評価の課題となる



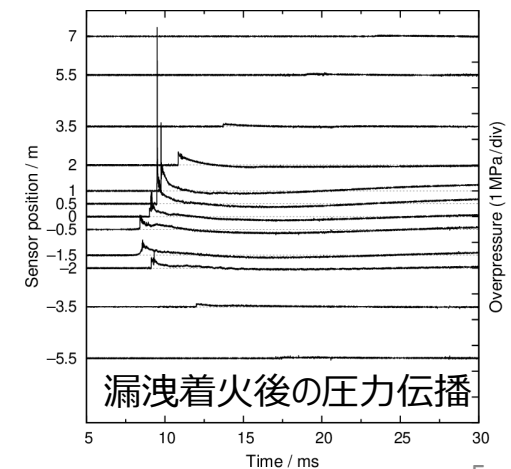
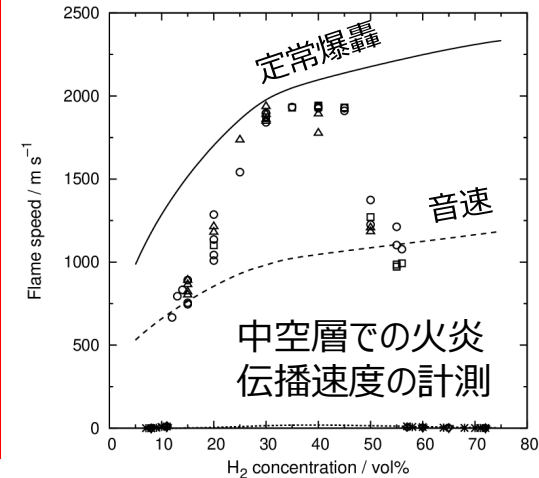
2重管を用いた各種計測(濃度、圧力、温度、発光)により漏洩および着火挙動(火炎伝播速度、爆轟転移、到達圧力)を調査

- ・中空層で火炎が伝播する条件、火炎が加速する条件を明らかにした
- ・漏洩を模擬した条件において着火時の圧力伝播挙動を観測した



課題：着火時のハザードは伝播火炎およびそれにより発生する圧力波である。本システムにおいて想定される事故シナリオを列挙し、それぞれに対し、地下空間等への立ち入り人員や構造物への被害が発生しない条件を、漏洩検知方法と併せ、明確化する必要がある

試験用模擬2重管
(外75A鋼管、
内50Aフレキ)



3. 研究開発成果 (② 水素供給インフラに係る技術基準等検討のための調査研究)

- 2重配管方式は、ガス管の直接埋設方式における水素漏洩(土壤中に拡散)と異なり、管路(中空層内)、マンホール内(半密閉区間)に複雑に拡散することが想定されるため、これらの設備構成を考慮した水素漏洩の検知方式の確立が必要
- マンホール等への人の入坑、他設備との併設等を踏まえて、人的、他設備への影響に対し、高い安全性(防爆性等)の担保が必要



1. 水素漏洩検知の実地調査

光ファイバの防爆性および分布的な検知が可能な点に着目して、光ファイバによる漏洩検知の有効性についての検証を実施。

- ① 直接的な水素漏洩検知: 光ファイバに漏洩した水素を直接吸収させることによる光学特性の変化による検知
⇒ 水素吸収による光損失増(1625nm帯)を、微小ではあるが時定数100h程度で測定できた。
- ② 間接的な水素漏洩検知: 水素漏洩にともなう光ファイバへの音響振動の検出による検知(実施調査では音響センサを用いて実施)
⇒ 水素漏洩によって1500~2500Hzの周波数成分が増加することが確認できた。
- ③ 異常予兆に関する検討: 輸送管への過剰な外力が加わることによる応力歪を、管に密着させている光ファイバで計測することで、経時的な破損の前に把握できる可能性がある。

2. 異常検知(圧力、流量)に関する検証

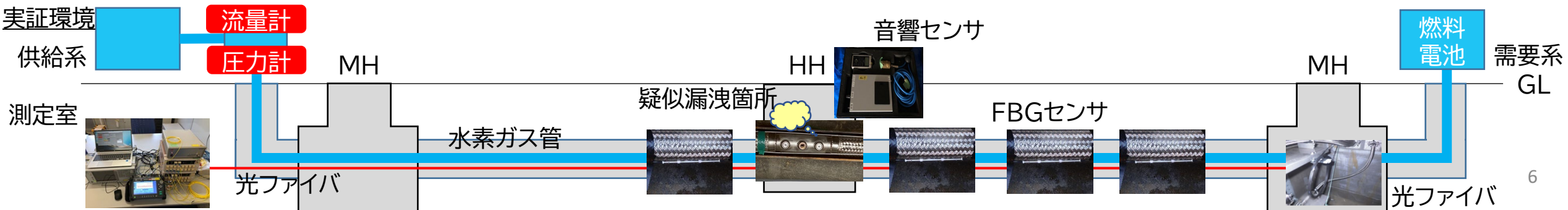
正常時データ(圧力、流量)の学習による水素漏洩時データの異常検知モデルの作成を行う。これを基に異常検知モデルの実環境適用に向けた初期検討を実施。

⇒ 作成した検知モデルを用いて、移動平均幅($w=60$ 秒)の異常度の場合、流量低下開始から30分以内に検知可能であると机上確認できた。

3. 実環境における各種水素センサーの性能評価

実証環境において2重配管内の中空層内に疑似漏洩させた水素の直接的な検知検証を実施。

⇒ 2重配管内に配置し、1vol%以下の低濃度を検知できる高感度、1秒ごとに水素を検知できる迅速測定の結果が得られた。

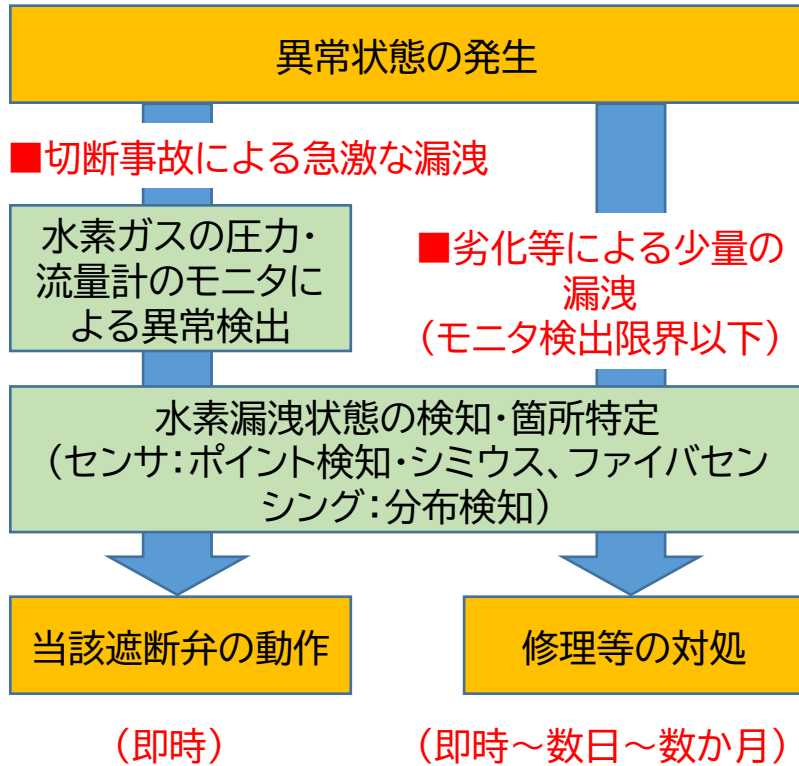


3. 研究開発成果 (② 水素供給インフラに係る技術基準等検討のための調査研究)

■ 実施結果概要

- 光ファイバセンシングで時定数100h程度で微小な光損失を確認
- 水素漏洩点において、音響振動による検出できることを確認
- 圧力・流量をパラメータとした正常時データ／水素漏洩時の基礎データを測定し、異常検知モデルの作成を実施
- FBGセンサで中空層内の漏洩水素を検知。安全性を最優先とした場合、センサを約10m間隔で設置することが必要

様々な異常状態の発生状況(管切断事故による急激なガス漏洩、劣化等による少量のガス漏洩等)に対して適切な把握手段(モニタ、センサ等)と的確なアクション実施ができる保守要件の明確化が必要となる



把握手段	切断事故による急激な漏洩	劣化等による漏洩		コスト
		少量の漏洩	異常予兆	
水素ガスの圧力・流量計モニタ	○ ★切断位置の特定は困難	×/☆ ★今後、精度向上の可能性探求		◎ ★需要変動による精度(への影響)に課題あり
水素センサ (ポイント検知)	○ ★切断位置の特定は困難	◎ ★マンホール内等注視箇所に有効		△ ★センサ価格が高
ファイバセンシング (分布検知)	◎ ★漏洩状況、切断位置の特定	○ ★反応は遅いが、分布的に検知可	○/☆ ★管の応力歪等の把握による可能性	◎ ★光ファイバで広範囲をカバー可
FBGセンサ (シミウス)	○ ★大まかな切断位置は確認可能	◎ ★中空層内にも設置可能		△ ★最適配置を今後検討予定

※レスポンス時間等評価(設備要件との補完条件に依存します)

※ ◎ or ○ or △:安全性確保に必要な条件・機能
 × or ○/☆:複合評価 ☆:チャレンジ領域

3. 研究開発成果 (③経済成立性の評価)

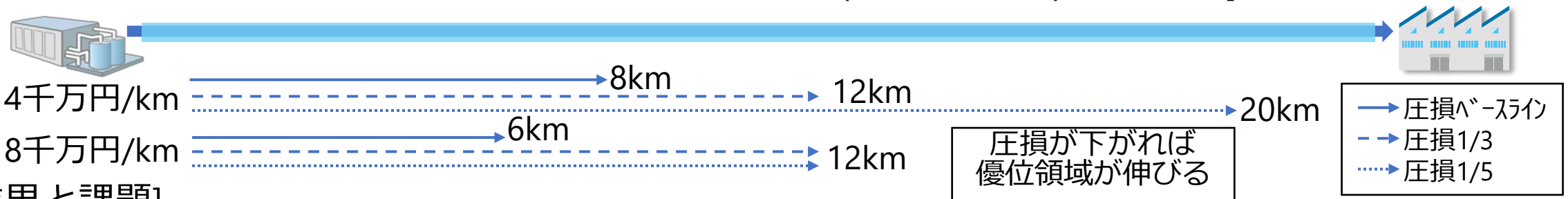
[配管選定]

- 今回の二重配管のインナー管では以下特性が必要となることからSUSフレキ50Aを選定
 - ・ 可撓性獲得のためのフレキ構造
 - ・ 前提とするさや管70Aへの挿入敷設

[設定値]

- パイプライン流量：800Nm³/h ⇒ 移送距離5.2km 流速12.92m/sec
- 敷設コスト（安全コスト含）：4千万円/km (DOE参考コスト) 8千万円/km (改善後コスト)
- ブースターステーションコスト：4千万円/箇所 (0.2MPa⇒0.9MPa) ←水素ST圧縮機から推計
- 配管長：距離を1.3倍にして計算する（配管の曲がり、エルボ等をコンサバに考慮）
- OPEXはパイプライン1%/年、圧縮機3%/年

[パイプライン優位領域 (vs圧縮水素・液化水素 /低圧(0.9~0.2MPa)/直線距離)]



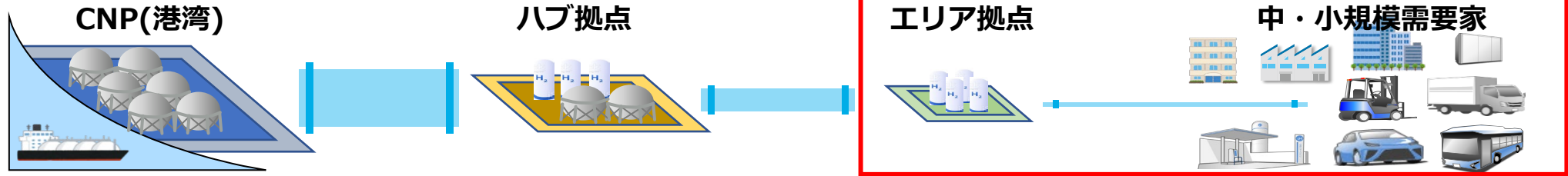
[成果と課題]

- 既設配管活用/二重管方式パイプライン水素輸送は比較的細い50Aの前提でも、配管コスト・安全コストの改善を要するものの、10~20km程度の輸送領域において圧縮水素等に対してコスト優位性を持つ可能性が高いことがわかった。
- 課題：安全性確立を前提に、①低圧損の配管材選定、②適用可能な元管状況等の把握

4. 今後の見通しについて

実用化・事業化に向けて

実用化イメージ：最終需要家への中・小規模の水素供給をターゲットとする



課題

対応方針

① 定量的評価に基づくリスクアセスメント	⇒ 二重配管系での各種現象理解、対応策の構築と検証
② 付臭措置代替となる安全技術の評価・確立	⇒ 一般化、技術基準の策定・適用、ルール・制度化
③ 自然災害等非定常時の安全機能維持	⇒ 安全機能(システム)の堅牢化・冗長化構成の検討・実装
④ 最適な配管スペックの研究と調達	⇒ 各種配管の継続調査研究を実施
⑤ 適用可能な元管状況が不明	⇒ 圧力損失も含めエリア選定に際しての事前確認

実用化への具体的な取り組み

- ・ 定量的リスク評価のための各種基礎現象の解明と安全対策の提案を目指す
- ・ 社会システムとしての機能要件を満たす普遍的な安全技術、技術基準の策定等取組みの提案を目指す
- ・ インフラとして必要となる高圧水素輸送を視野に入れた最適配管スペックの提案を目指す

その他効果

水素の効率輸送は水素大量利活用時代に向けた水素社会インフラの成立性に大きく寄与