

凝固性のある流体を 移送可能な定量ポンプ

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門
高温ガス炉研究開発センター 水素・熱利用研究開発部
ISプロセス試験グループ

野口 弘喜

令和2年9月1日

背景

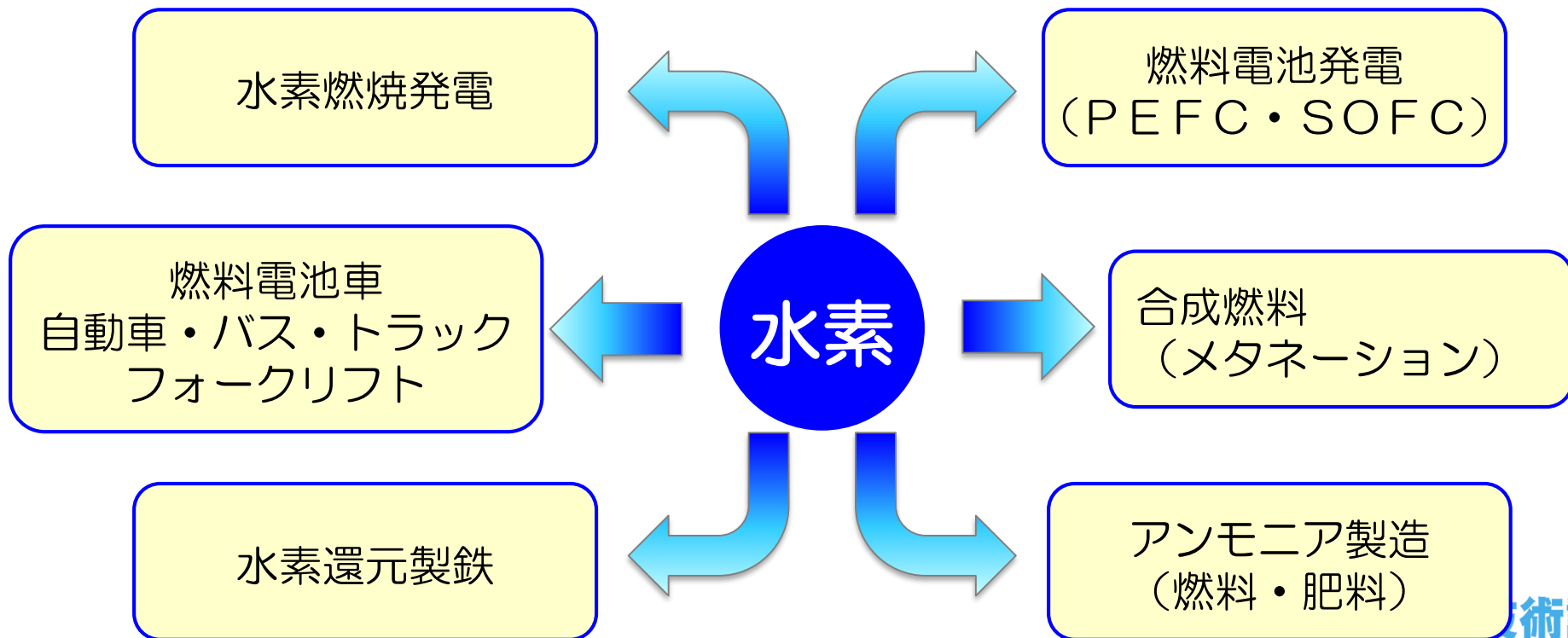
水素エネルギー社会に向けて

原子力機構では、原子力を利用した水素製造技術を開発中

水素：燃焼や発電などで利用により水しか発生しないクリーンなエネルギー

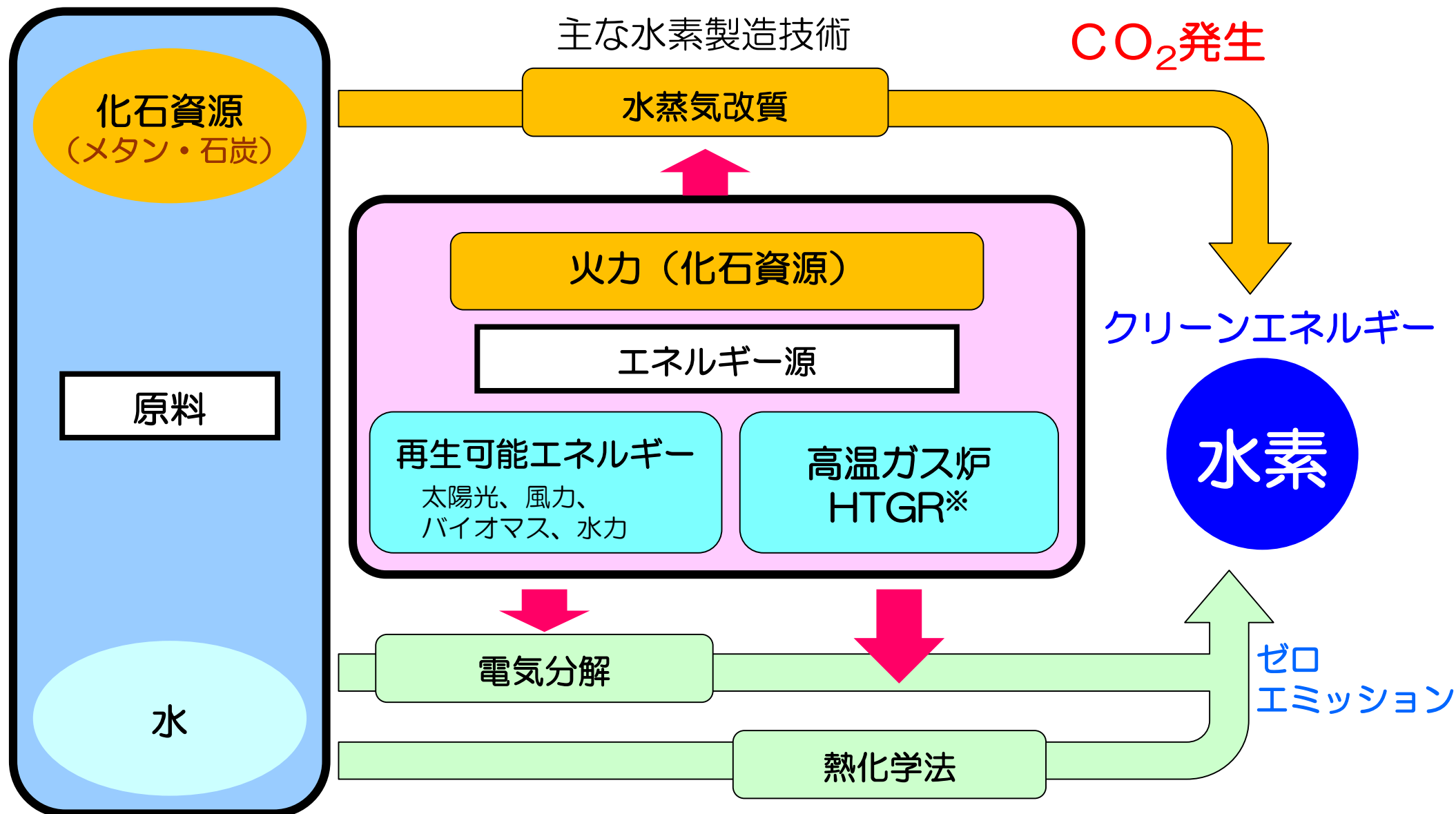
➡ CO₂排出量削減
エネルギーセキュリティ強化

多様な水素の利用方法



背景

水素エネルギー社会に向けて

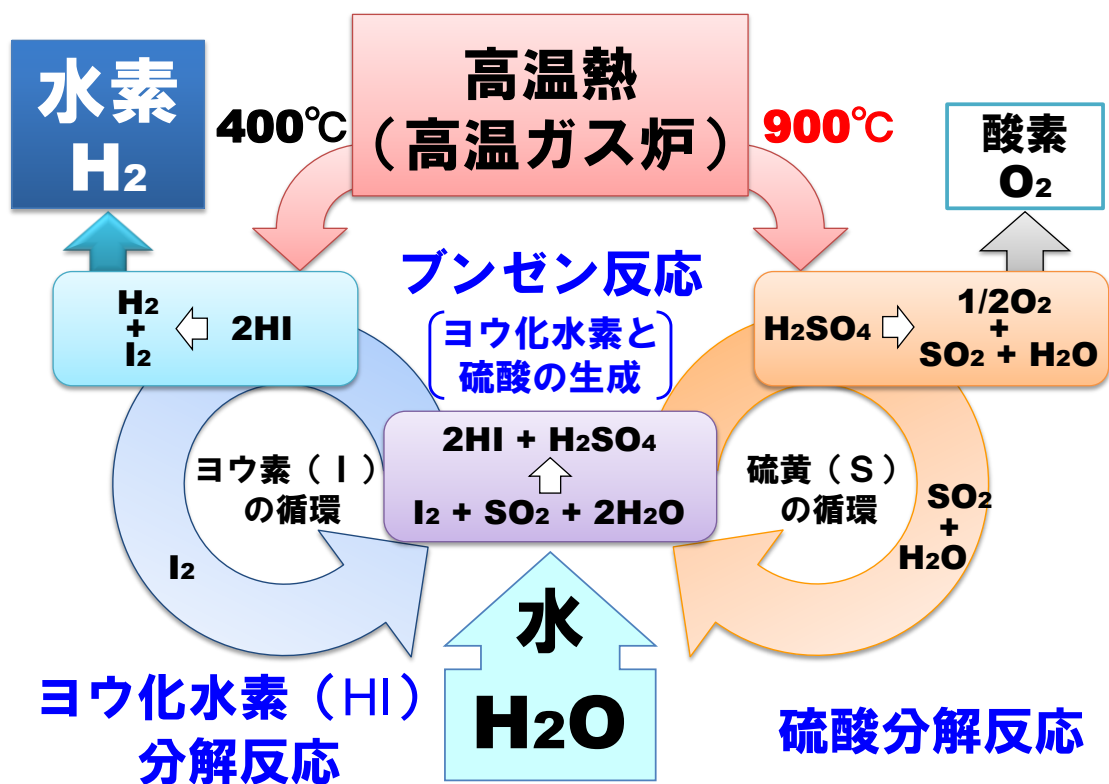


※ 高温ガス炉：約900℃の高温の熱を取り出すことができる新型原子炉
HTGR (High Temperature Gas-cooled Reactor)

背景

熱化学法 I Sプロセス

- 水の熱分解 → 4000°C以上の高熱が必要
- ISプロセス → ヨウ素 (I) と硫黄 (S) を利用して
約900°Cの熱で水を熱分解可能



- ✓ ヨウ素 (I) と硫黄 (S) はプロセス内で循環
⇒有害物質の排出なし
- ✓ 高温ガス炉との組合せ
⇒炭酸ガスの排出なし

熱化学法ISプロセスの概要

背景

熱化学法 I S プロセスの研究開発



連続水素製造試験装置

- 工業材料（金属やセラミックス）を用いた試験装置を製作
- 機器信頼性確認及び長時間安定した水素製造実証

現在

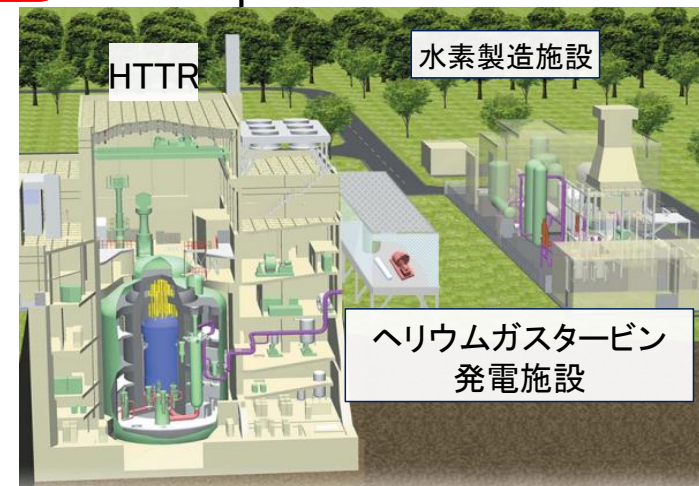
工業材料機器試験
2010~

要素技術開発
2005~2009

工学基礎試験
1999~2004

- ガラス製試験装置により0.03 Nm³/hの1週間連続水素製造に成功

実験室規模試験
1997



HTTR：高温工学試験研究炉

実用化
民間へ移行

HTTR-GT/H₂ 試験

基盤技術の確立

背景

連続水素製造試験設備に使用しているポンプ

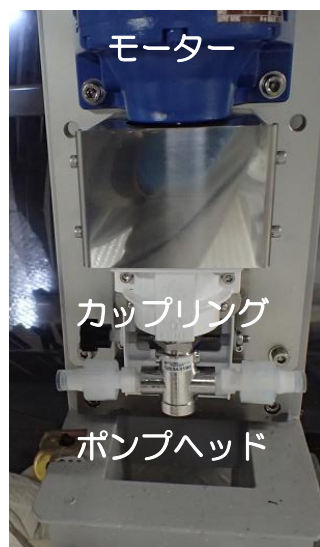
熱化学法ISプロセスのポンプ溶液環境：

硫酸、ヨウ化水素溶液などの酸性溶液による高い腐食環境

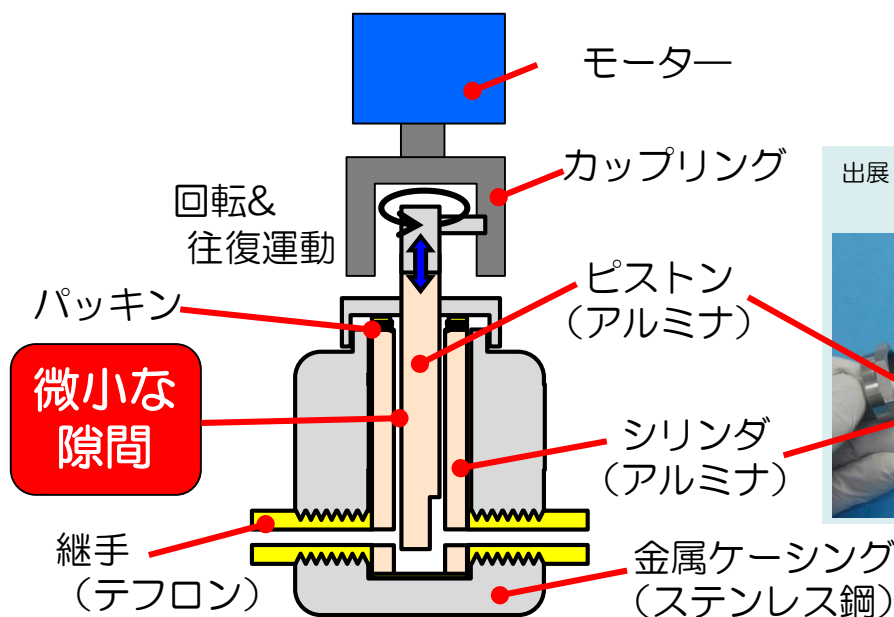
(温度：20°C~100°C、圧力：真空~0.3 MPaG、流量：~0.4 L/min)

耐食性の高いセラミックスを用いたプランジャーポンプを選定

【特徴】ピストンとシリンダによるシンプルな構造であり、高い定量性を有する
ピストンが摺動するための**微小な隙間**が存在



バルブレスプランジャーポンプ



出展：FMIラボポンプリップ
シール交換手順書 Qシリーズ



課題

熱化学法 I S プロセスにおける固体ヨウ素の析出によるポンプ固着

- 水素製造試験中にプランジャーポンプが固着停止

【ポンプの使用環境】

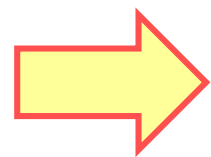
溶液：高濃度のヨウ素 (I_2) を含むヨウ化水素 (HI) 水溶液
 (固形物 (I_2) を析出しやすい水溶液)

温度：約 $70^{\circ}C$

圧力：0.1 MPaG

- ポンプ停止により試験を中断

ポンプは運転、制御上重要な機器であり、その故障はプラント全体の運転に影響を与える



安定に送液可能なポンプの開発が必要

課題

熱化学法 I Sプロセスにおける固体ヨウ素の析出によるポンプ固着

【ポンプ固着停止のプロセス】

ピストンとシリンダーの微小な隙間
(軸封部)へプロセス溶液が侵入



軸封部で固体ヨウ素が析出
(ヨウ素溶解度の低下)



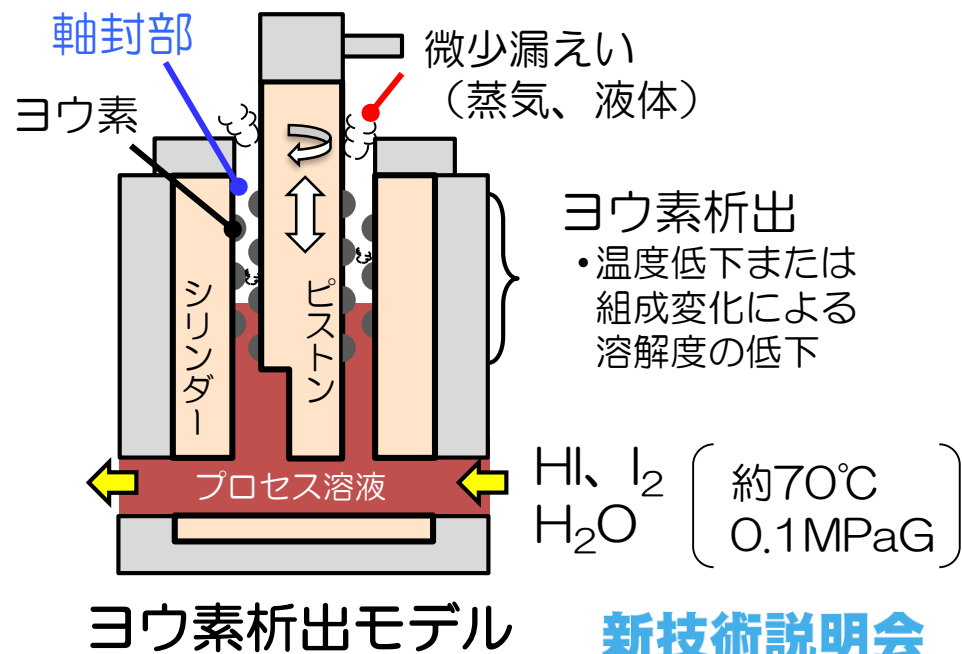
ピストンの摺動抵抗が増加



ポンプが固着停止



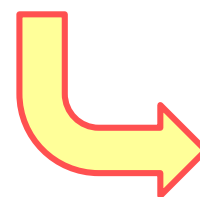
固着したポンプの外観



固着の原因と対策

【固着の原因】

- ① ピストン-シリンダの微小な隙間へプロセス溶液が侵入
- ② 侵入したプロセス溶液のヨウ素溶解度が低下し、
固体ヨウ素が析出



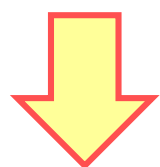
溶液温度の低下
溶液のHI濃度の低下が影響

【対策】

- ① ガスバリア法 (軸封部への溶液侵入抑制)
- ② 液バリア法 (軸封部の異物除去)

対策①

ガスバリア法



不活性ガスを軸封部に充填・流通させて、軸封部の圧力を調整し、プロセス流体の軸封部への侵入を抑制する

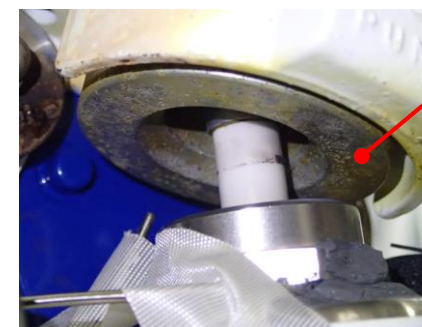
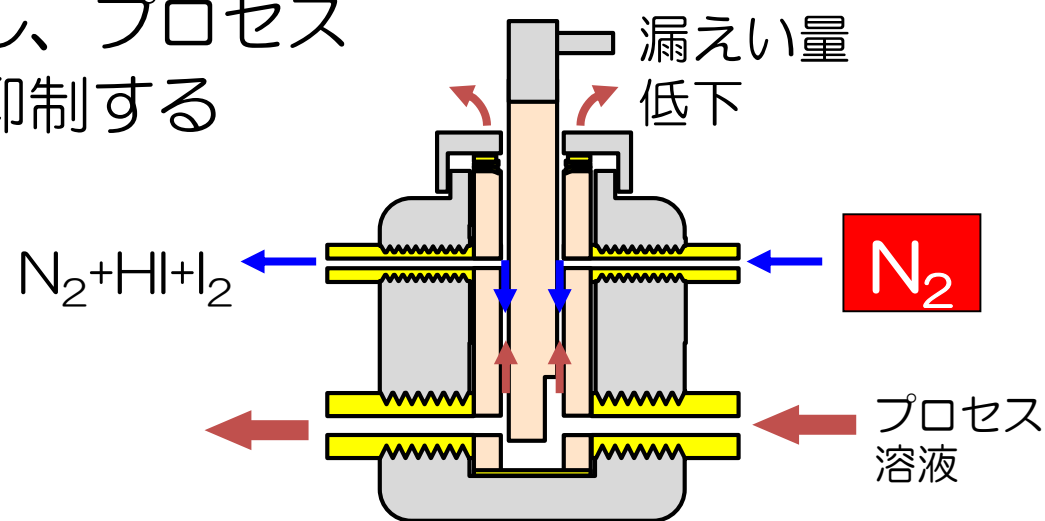
【メリット】

- ・ プロセス溶液の侵入を抑制
- ・ 不活性ガスにより侵入したプロセス溶液を排出することで、ポンプ上部からの漏えい量が低下

【問題点】

- ・ **ポンプが固着停止**

軸封部に侵入した溶液中のHI成分が蒸発し、ヨウ素溶解度が低下して固体ヨウ素が析出したと推定

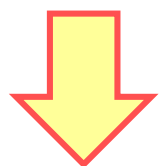


腐食低減

カップリング
(10時間運転後)

対策②

液バリア法



液体を軸封部へ流通させ、軸封部の異物を除去

水の注入では、固体ヨウ素の析出リスク大
固体ヨウ素を溶解させることができ、プロセス溶液に混入しても影響の少ない

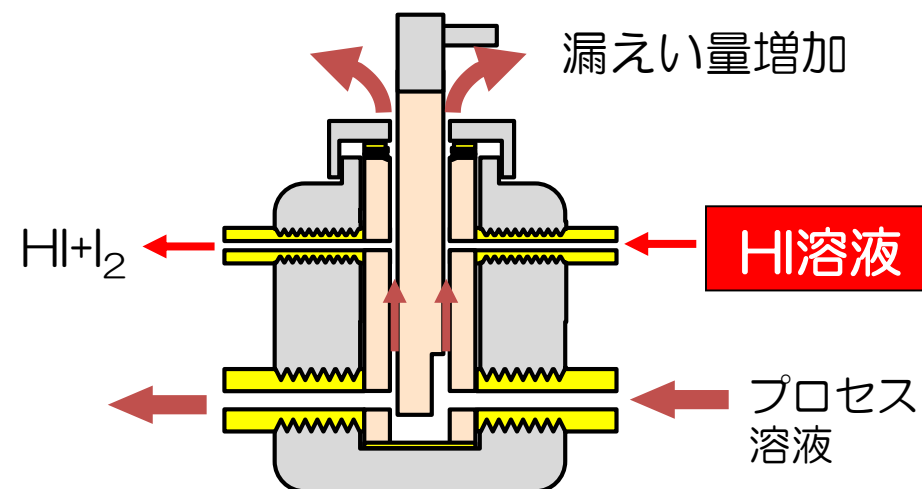
HI溶液を注入

【メリット】

- HI溶液の注入により固体ヨウ素の溶解し、ポンプは**固着せず運転可能**

【問題点】

- ポンプ上部からのHI溶液の漏れい量が増加し、ポンプカップリング等の**周辺部品が腐食**



カップリング
(10時間運転後)

新技術の特徴

溶媒ーガス併用注入システムの導入

① 溶媒の微量注入（固体ヨウ素の溶解）

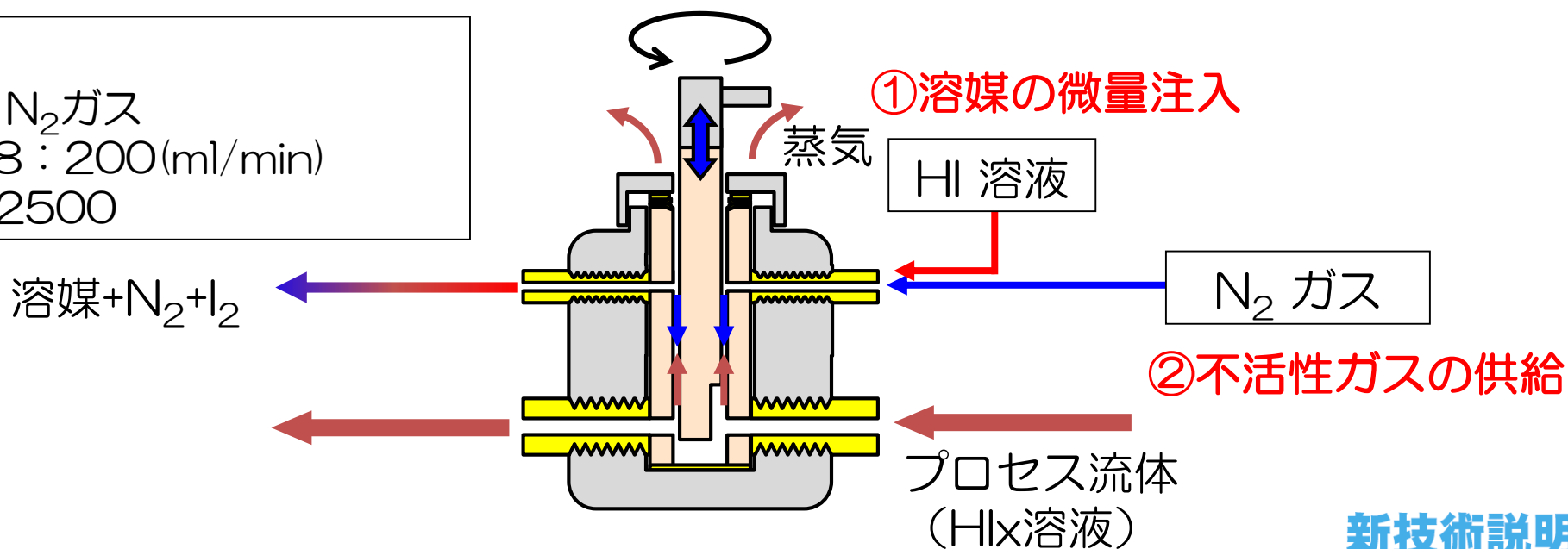
固体ヨウ素を溶解するために、微量のHI溶液を注入する。ポンプ上部からの漏えいを抑制するため、HI溶液の注入量を制限する。

② 不活性ガスの供給（溶媒の排出）

不活性ガスを流通させることでプロセス流体の軸封部への侵入を抑制しつつ、①で注入したHI溶液を軸封部から排出することでポンプ上部から漏えいを抑制する

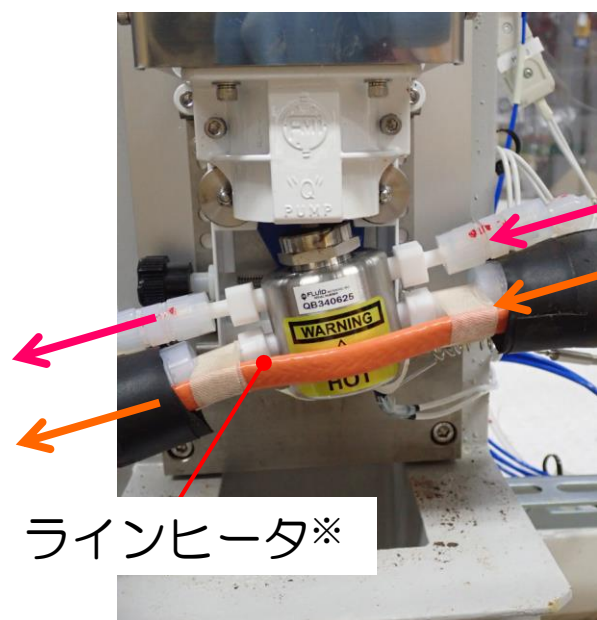
実施例

HI溶液：N₂ガス
 = 0.08：200(ml/min)
 = 1：2500



新技術の特徴

- 新技術によりポンプが固着することなく連続運転が可能
 (従来) 数時間でヨウ素の析出による固着が発生
 (新技術) 200時間以上の安定運転が可能
 ⇒ 長期間の安定運転への見通しを得た
- カップリング等の部品の腐食量の低減



ラインヒータ※

N₂
HI溶液
プロセス溶液

新技術を組み込んだポンプ



カップリング
(200時間運転後)

※温度低下による固体ヨウ素の析出防止

想定される用途

熱化学ISプロセスにおける以下のポンプに使用

- 高濃度ヨウ素を含むヨウ化水素水溶液の送液ポンプ
- 微量のヨウ素を含む硫酸水溶液の送液ポンプ

以下の分野における固形物が析出しやすい溶液の送液技術として使用可能

- 化学工業分野
- 医薬・製薬分野
- 化学分析分野 など

実用化に向けた課題

- 本技術開発（溶媒ーガス併用注入システム）の基盤技術検証は完了済み
- 大流量への適用性
- 長期間の安定性

企業への期待

- 固体が析出しやすい環境でポンプを使用している企業、同環境の溶液を送液したい企業には本技術の導入が有効。
- 本技術の導入によりポンプの安定性が向上し、バッチ処理や手動処理にとどまっていた工程を連続処理及び自動化へ大幅改善できる可能性がある。
- 本技術について、実用化に向け、ポンプ開発技術を持つ企業との共同研究を希望。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 溶液移送装置
- 公開番号 : 特開2018-204482
- 出願人 : 日本原子力研究開発機構
大日機械工業(株)
- 発明者 : 野口弘喜、久保真治、
上地優、田中伸幸、
今肇、直井登貴夫

お問合せ先

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
研究連携成果展開部

<https://tenkai.jaea.go.jp/>



産学連携
(成果や研究施設を利用する、契約する)

成果利用



産学連携サテライト・実用化プロジェクト



施設利用



研究契約



TEL : 029-284-3420

e-mail : seika.riyou@jaea.go.jp