

番号： A-4-1J

PJ： 冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発

担当機関名： 名古屋大学、東邦ガス、東京理科大学

日揮株式会社、東京大学、中京大学

問合せ先： 名古屋大学未来社会創造機構 則永行庸 (norinaga@nagoya-u.jp)



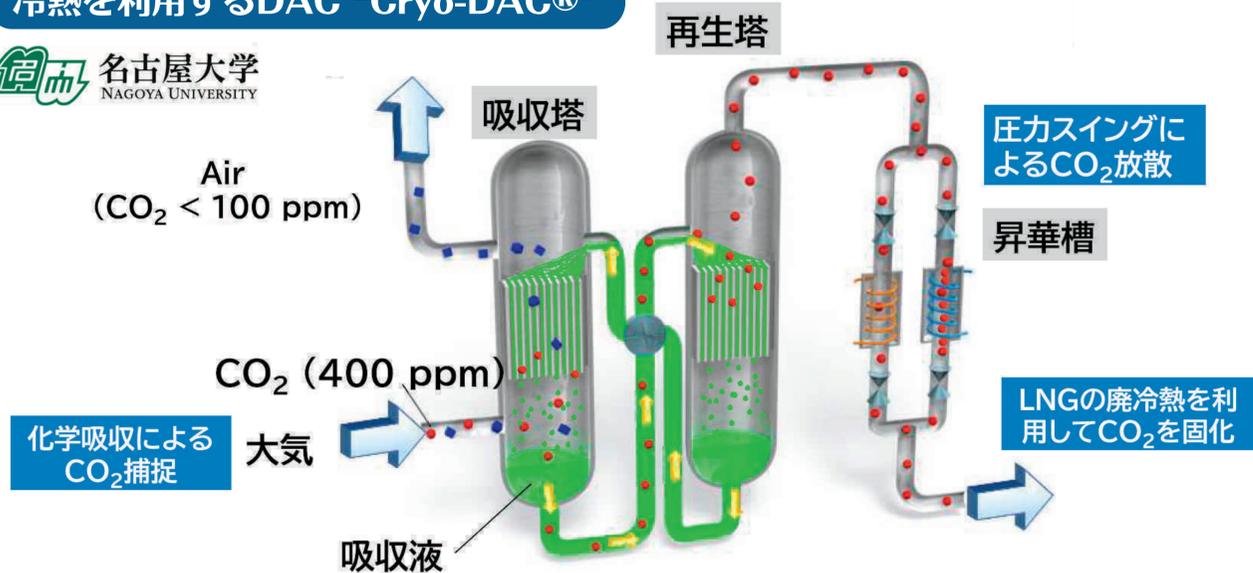
MOONSHOT  
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

# LNGの未利用冷熱活用によるCO2の固化と、これに伴う減圧効果を利用した圧カスイング型アミンプロセス

## 冷熱を利用するDAC “Cryo-DAC®”



名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY



## 研究チーム



名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY

- Cryo-DAC® 基盤技術開発
- 吸収液開発、各工程設計



東邦ガス

- Cryo-DAC®
- プロセス及びシステムの概念設計



東京理科大学

- 材料解析による健全性評価



日揮株式会社

- プロセス概念設計の基礎データ提供
- ベンチスケール機の設計
- 吸収塔・再生塔の最適化設計



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

- プロセス・システム解析
- 健全性モニタリングシステムの開発



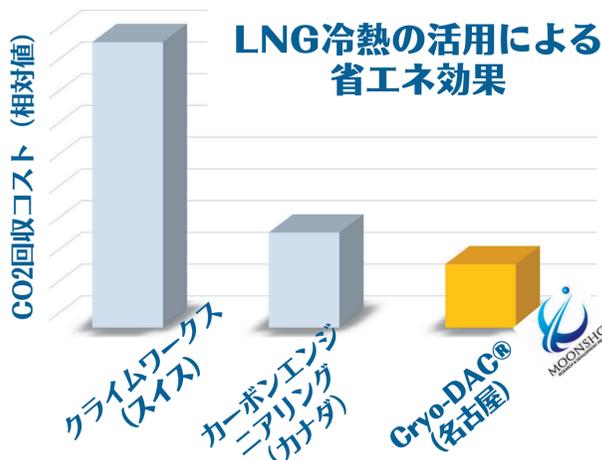
中京大学  
CHUKYO UNIVERSITY

- 環境・経済的解析

## CO2除去コスト



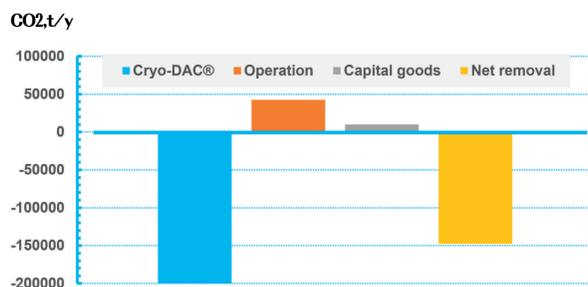
東邦ガス



## ライフサイクルアセスメント



中京大学  
CHUKYO UNIVERSITY



※1 CO2排出係数 0.506 kg/kWh (2020)

※2 Aspen Economic Analyzer / 国立環境研究所 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)

## 装置材料



東京理科大学

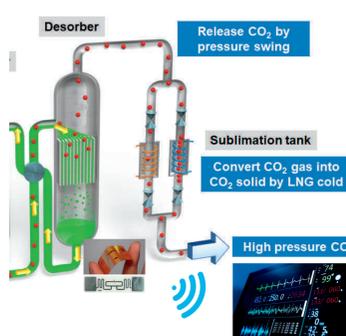


SUS304が、極低温下、1千万回、400 MPaの繰り返し応力印加でも破断しないことを確認

## センサー

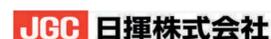


東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO



無線ひずみセンサによる装置材料健全性モニタリング

## 開発スケジュール



日揮株式会社

2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029

開始

原理検証



ベンチプラント設計・建設・運転



パイロットプラント設計・建設・運転

番号: A-4-2J

PJ: 冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発

テーマ名: Cryo-DAC<sup>®</sup>プロセスの開発

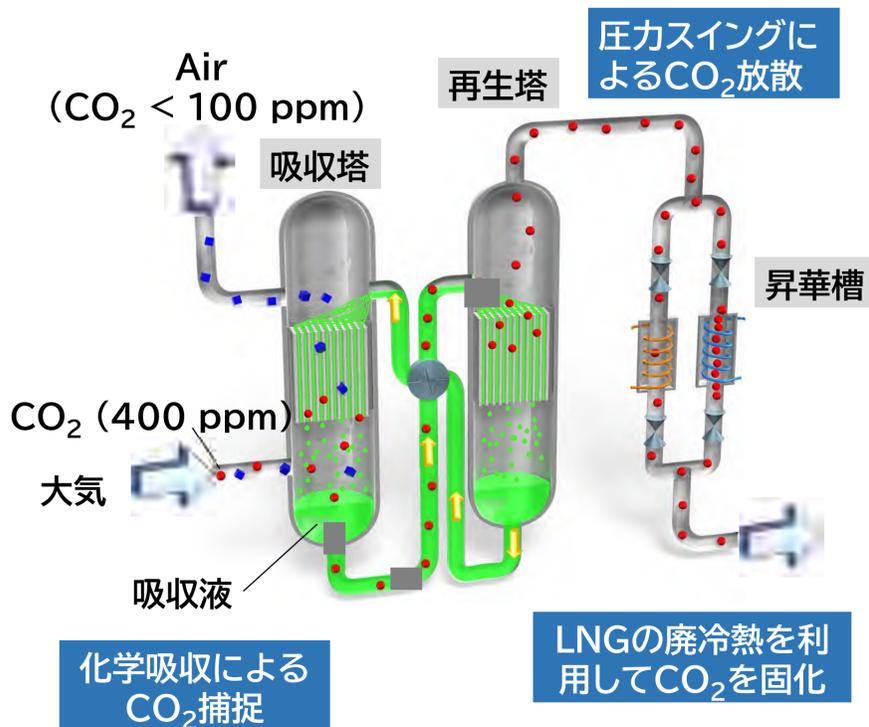
担当機関名: 国立大学法人 東海国立大学機構 名古屋大学

問合せ先: 未来社会創造機構 則永行庸 ( norinaga\_at\_nagoya-u.jp )



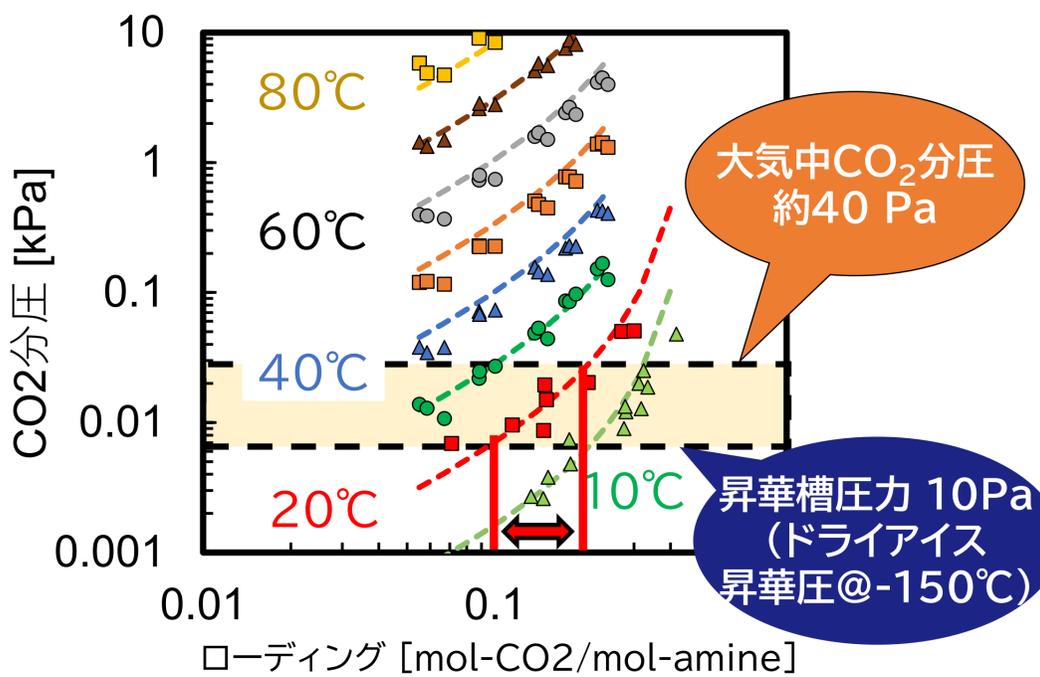
### クライオダック

## 冷熱を利用するDAC “Cryo-DAC<sup>®</sup>”



LNG冷熱を利用したクライオジェニックポンピングが駆動する圧カスイング型アミンプロセス

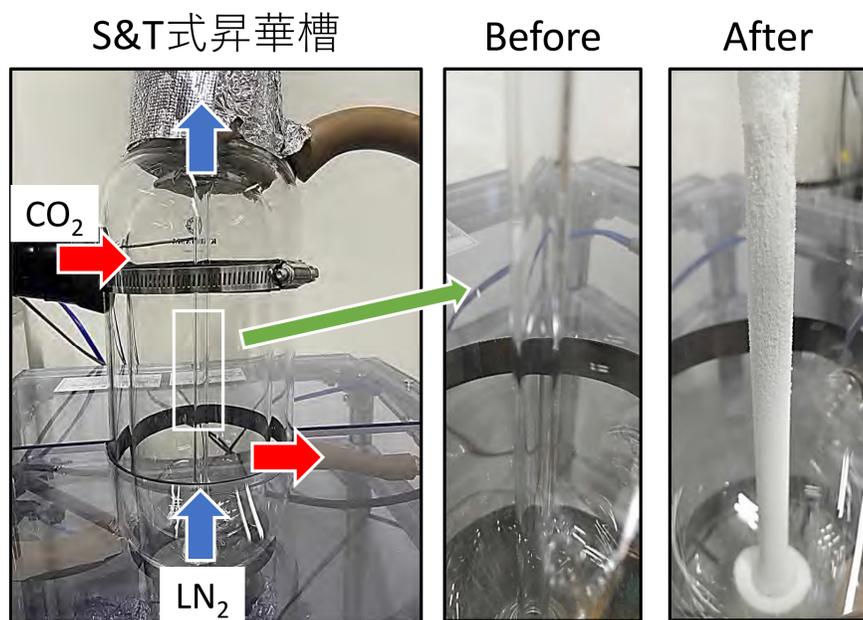
## ◆ プロセス実現の鍵を握る「吸収液(NU-01)」を開発



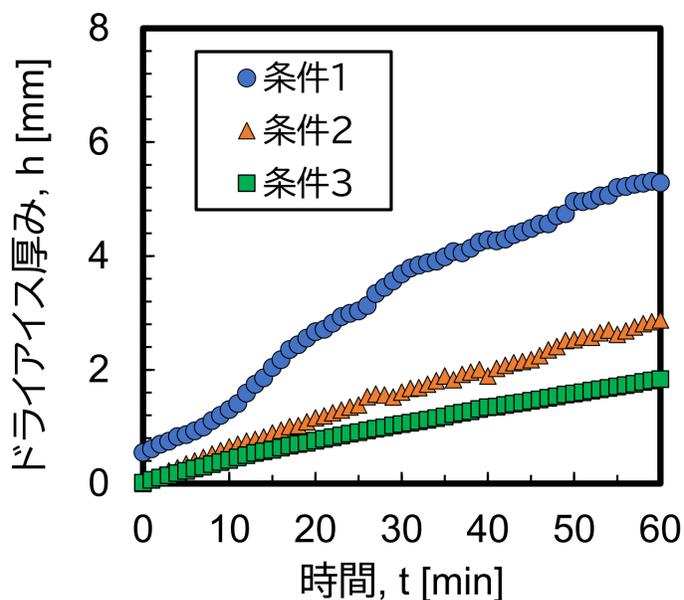
ローディング差 > 0.1、低蒸気圧(0.5Pa)

➡ 提案プロセスを駆動可能な吸収液

## ◆ ドライアイス生成過程の可視化

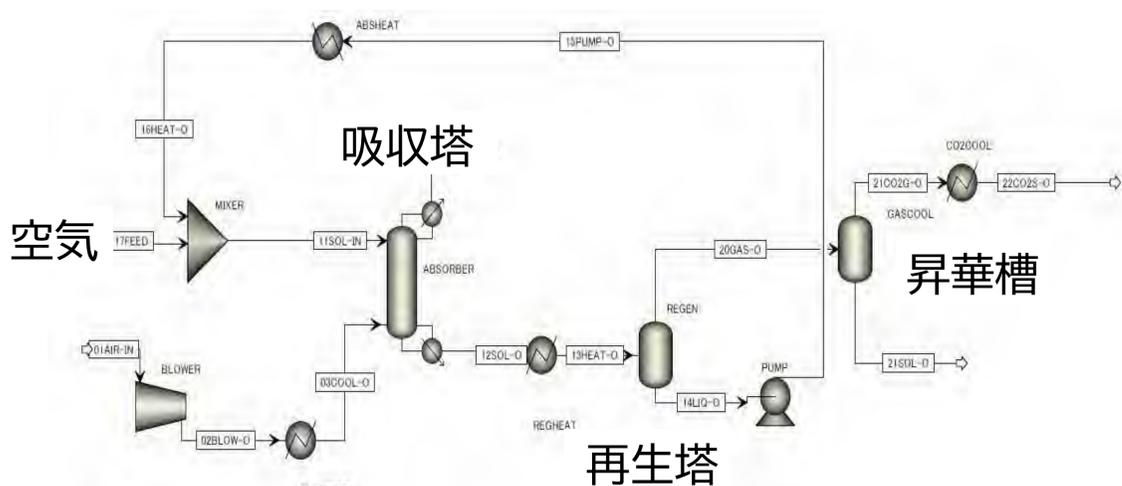


ドライアイス生成の様子



ドライアイス生成速度の評価、スケールアップへ

## ◆ プロセスフローと基本設計



ラボ実験の結果をフィードバックしてベンチスケール機の基本設計を実施。

✓ プロセスフローのコンセプトはほぼ完成。

✓ 昇華槽は熱交換器設計の技術へ落とし込み、設計中。

### CO<sub>2</sub>およびアミン存在下における極低温⇔室温の温度振幅が鋼材強度に与える影響

評価対象: 冷温に対して耐性のあるオーステナイトステンレス鋼4種 (SUS304、304L、316、316L)

■ CO<sub>2</sub> (ドライアイス/炭酸ガス) 存在下で「液体窒素浸漬⇔室温への復温」を繰り返す冷熱衝撃試験を実施  
⇒ 1000 cyc. 後の表面硬度: SUS304≈SUS304L (+3~+8% vs. ini.) ≫ SUS316≈SUS316L (-40~-50%)

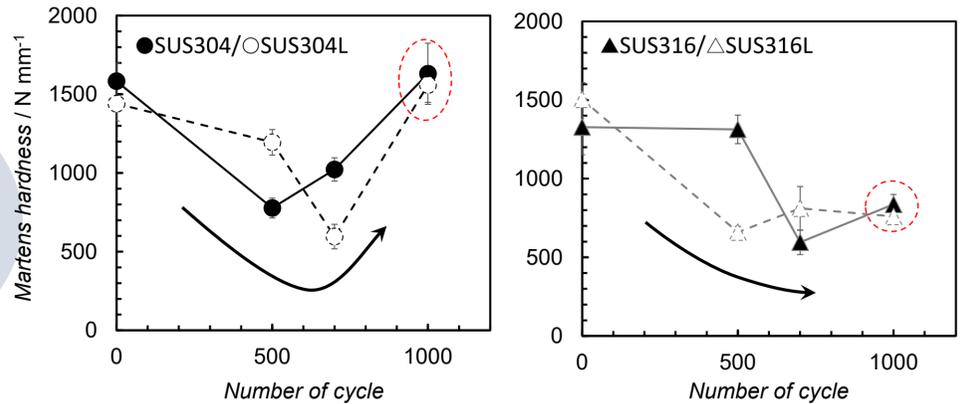
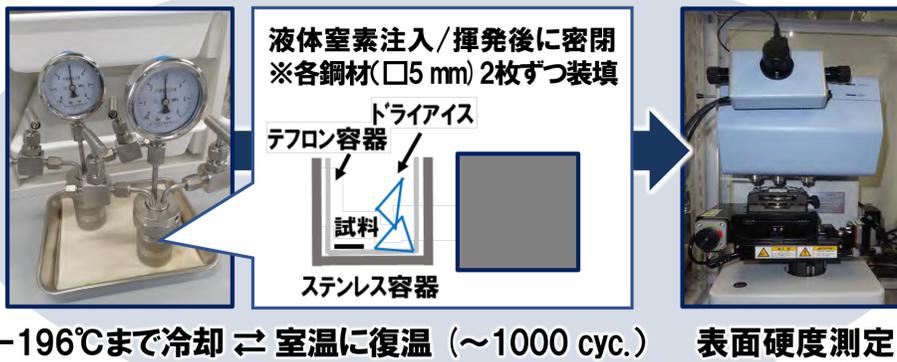


図1. CO<sub>2</sub>存在下冷熱衝撃試験の各鋼材の表面硬度の比較

■ CO<sub>2</sub> (ドライアイス/炭酸ガス) & CO<sub>2</sub>の吸収に用いられるアミン水溶液 (25%モノアミノエタノール) 存在下で「液体窒素浸漬⇔室温への復温」を繰り返す冷熱衝撃試験を実施  
⇒ 1000cyc. 後の表面硬度: 全ての鋼材で顕著に低下 (-60~-70% vs. ini.)

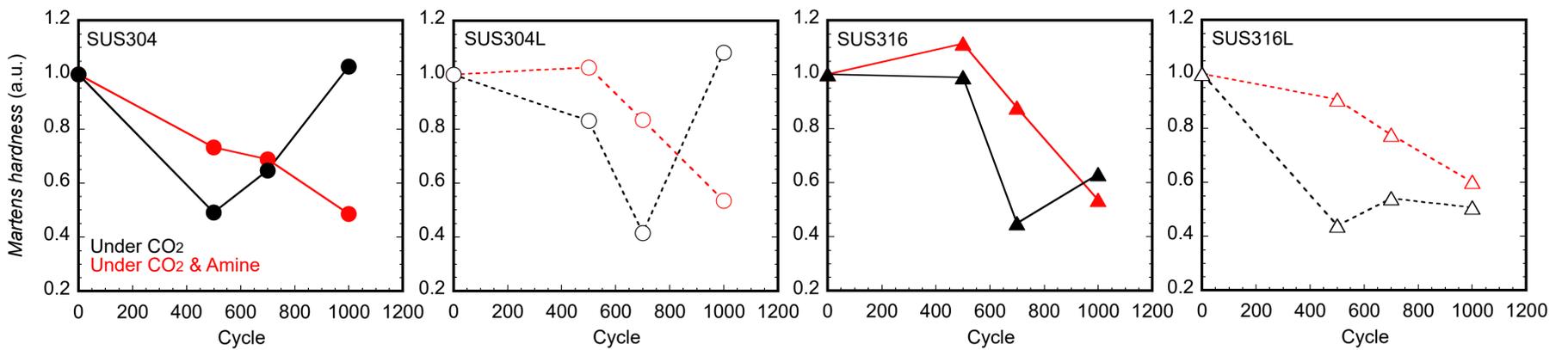


図2. アミン/CO<sub>2</sub>存在下の冷熱衝撃試験の各鋼材の表面硬度の比較

### Cryo-DAC<sup>®</sup>で想定される運転期間 (25年間:10<sup>7</sup> cyc.) に対するSUS304の耐久性評価

評価対象: SUS304 / CO<sub>2</sub>下における温度振幅試験前後 (~1000 cyc.) の表面硬度変化=+3%

■ -196°C下の引張疲労試験 (400 MPa~560 MPa、25 Hz、~10<sup>7</sup> cyc.) を実施  
⇒ 10<sup>7</sup> cyc.の疲労限度:447.5 MPa ≫ -196°C~室温の温度振幅に伴う圧力振幅 (想定:10 Pa⇔4 MPa)

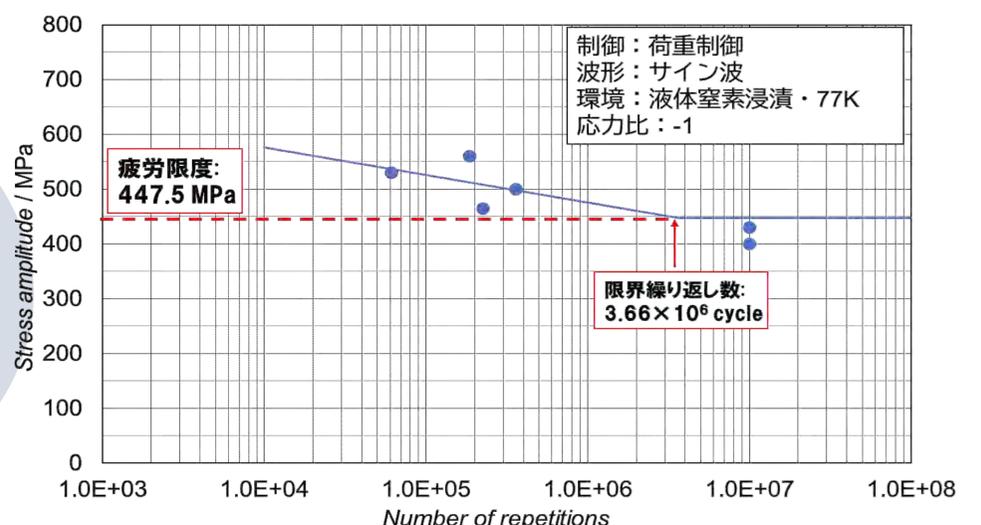
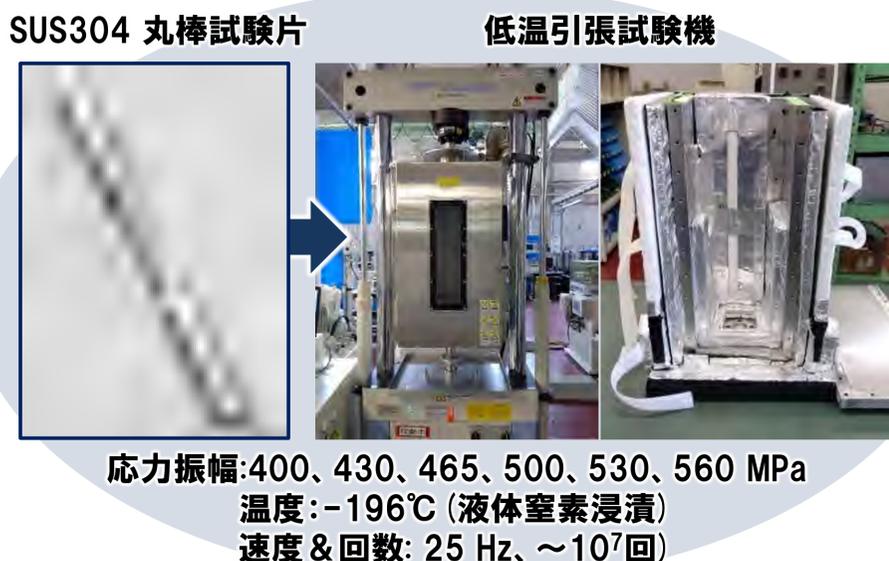


図3. 液体窒素温度下におけるSUS304鋼のS-N線図

### プロセスのエネルギー・コスト評価 (東京大学再委託)

- Cryo-DAC<sup>®</sup>をプロセスシミュレータ (Aspen Plus) でモデル化しました。
- パラメータスタディにより、CO<sub>2</sub>回収コストの最小条件を探索しました。

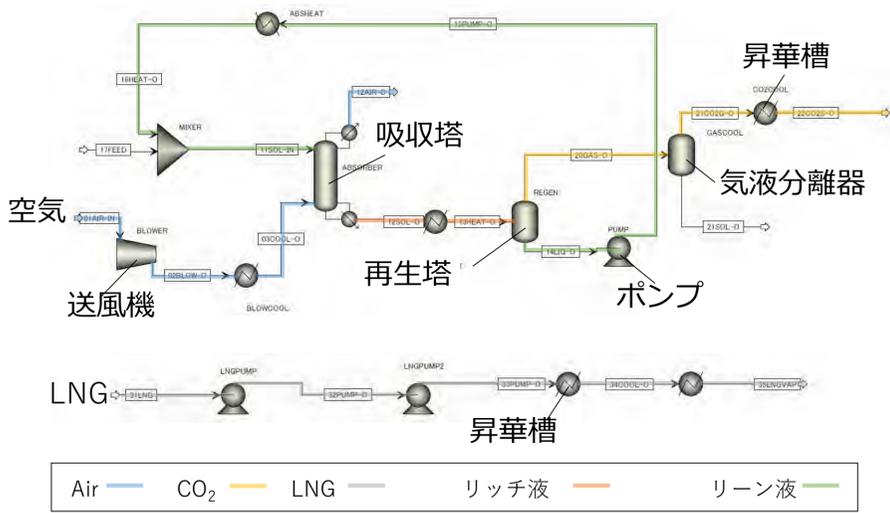
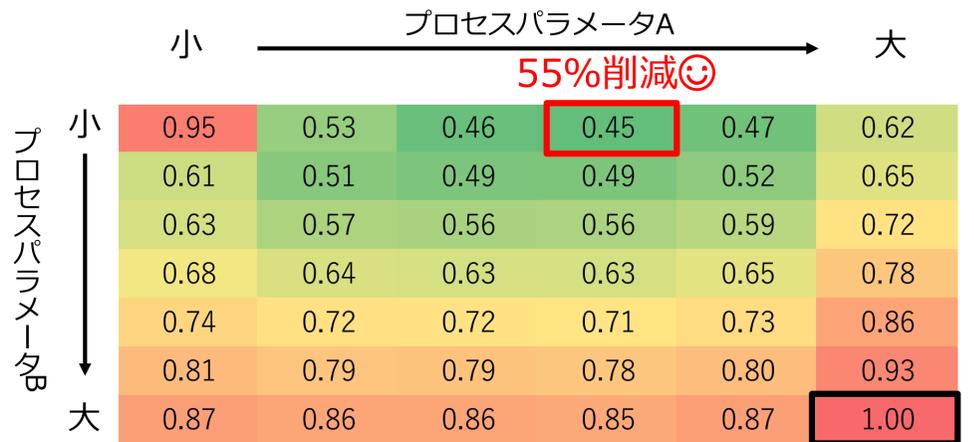


図1 Cryo-DAC<sup>®</sup>のPFD



この条件でのCO<sub>2</sub>回収コストを1とした場合の相対値

図2 CO<sub>2</sub>回収コストのパラメータスタディ

### LCA評価 (中京大学再委託)

- Cryo-DAC<sup>®</sup>に限定したLCA評価 (システム境界BでのLCA評価) を実施しました。
- 現状のCO<sub>2</sub>排出係数を用いても、正味でのCO<sub>2</sub>除去が可能との試算結果を得ました。

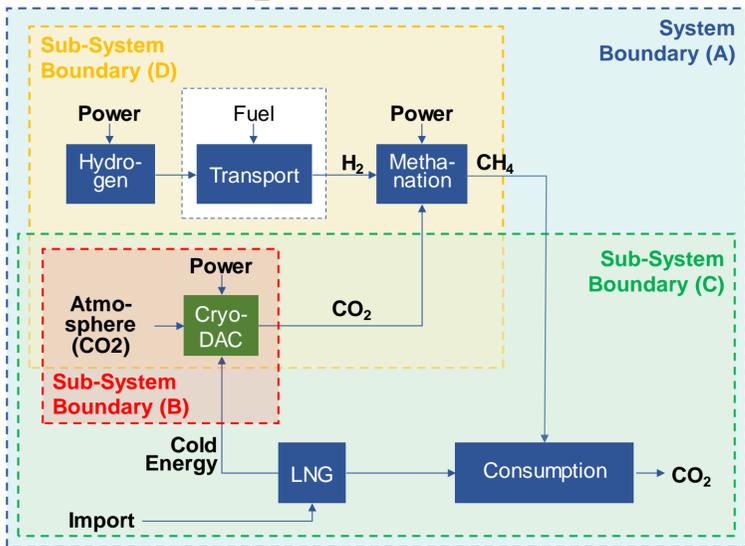
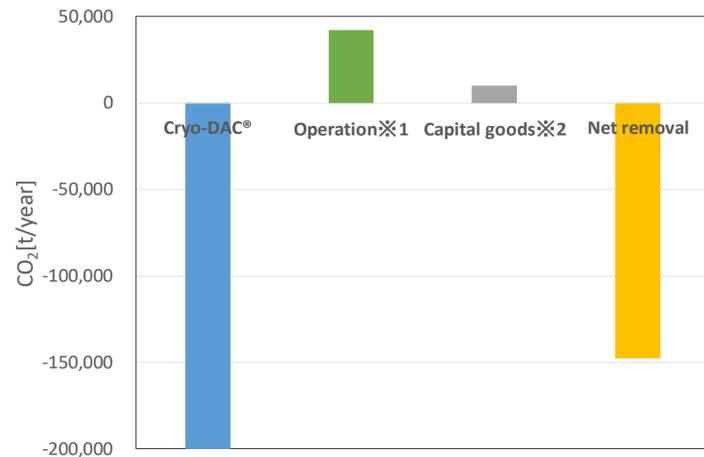


図3 LCA評価のシステム境界



※1 CO<sub>2</sub>排出係数: 0.506kg/kWh (2020) ... 研究開発初期段階のCCU技術を対象としたライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量の簡易評価ガイドライン (NEDO)  
 ※2 Aspen Process Economic Analyzer / National Institute for Environmental Studies 3EID database

図4 LCA評価結果

### センシング技術開発 (東京大学再委託)

- 装置の健全性を診断するためのLNGの極低温条件 (約-160℃) で使用可能なセンサを開発しています。
- 液体窒素温度 (約-190℃) でMEMSひずみセンサによる鋼材の変形の計測に成功しました。

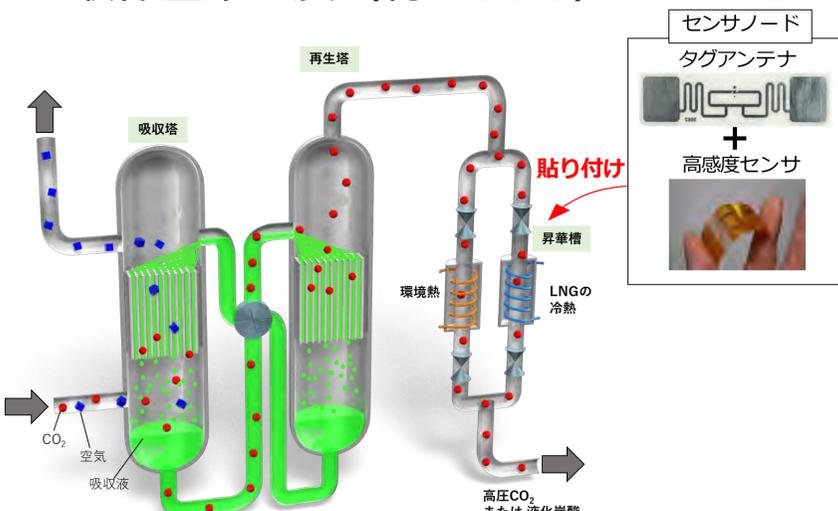
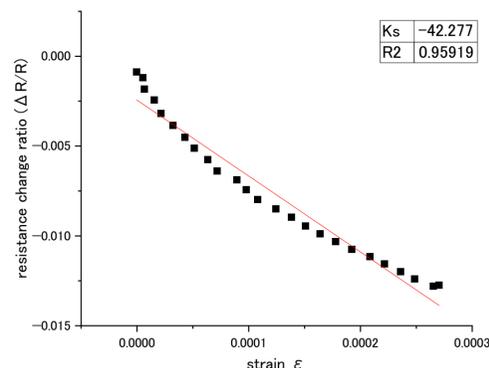
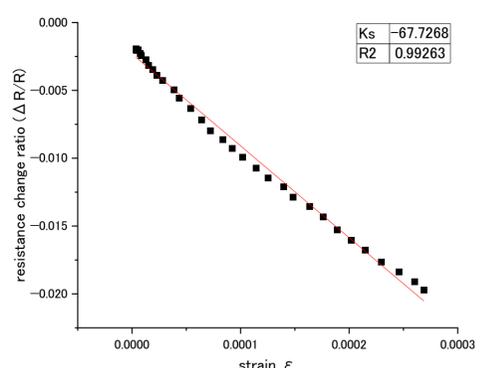


図5 健全性診断センサの実装イメージ

・ 常温環境での計測例



・ 液体窒素環境での計測例



$$K_s = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

$K_s$  : ゲージ率       $R$  : ゲージ抵抗  
 $\epsilon$  : ひずみ           $\Delta R$  : 抵抗変化量

図6 MEMSセンサのゲージ率