

ISO 27913:2024

Pipeline transportation systems

ISO/TC 265 WG2
ISO/TC265国内審議委員会輸送WG

2024年12月2日

（公財）地球環境産業技術研究機構（RITE）

概要：ISO27913の制定経緯

- 本規格はISO/TC265技術委員会（CO₂の回収、輸送、貯留）によって2024年10月に出版された。

- 2016年11月に出版された初版（ISO27913：2016）の全面改訂版。

【主な改訂点】

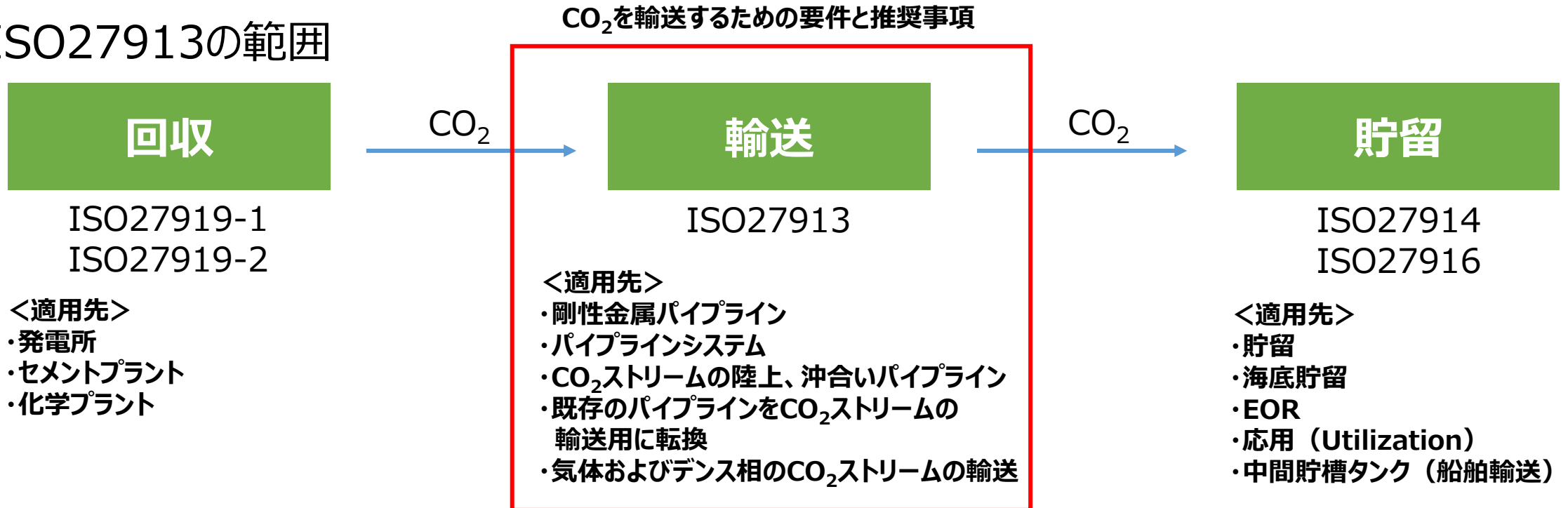
- ✓ 全体的な編集改善、引用規格の更新
- ✓ CO₂ストリームの流量、不純物に関するサブクローズを追加
- ✓ 不純物レベルを5%に制限(業界慣行の数値として認識すべきという表現に強化)
- ✓ CO₂ストリームパイプラインの健全性確保のための要件を追加
- ✓ Annexの充実化（A: CO₂ストリームの組成例、D: 不安定延性破壊防止、F: デンス相CO₂の減圧挙動）
- 国内においては、ISO/TC265国内審議委員会輸送WGにおいて開発に協力し、日本として国際標準化に参画。

概要：ISO27913の目的、範囲

➤ ISO27913の目的

- CO₂の大規模輸送用パイプラインの安全で信頼性の高い設計、建設、運用を確保。
- 独立した規格ではなく、パイプラインの既存規格（ISO 13623、ASME B31.4、ASME B31.8、EN 1594、AS 2885 等）でカバーできていない**CO₂特有の課題（破壊停止や内部腐食防止など）を補完。**

➤ ISO27913の範囲



ISO27913の構成と技術ポイント

	タイトル	主な内容	技術ポイント
1～4章	範囲、引用規格、用語・定義、略語		
5章	CO ₂ 、CO ₂ ストリームの特性	- 熱力学（状態図、相挙動） - 不純物成分の反応による影響	不純物影響
6章	コンセプト開発と設計基準	- CO₂ストリームの組成 - 内面腐食防止 - フローアシュアランス - パイプライン配置	CO ₂ 腐食 インライン検査 内面コーティング
7章	材料とパイプライン設計	- 内面腐食 - パイプライン材料	CO ₂ 腐食
8章	管厚設計	- 内圧に対する管厚設計 - 不安定延性破壊に対する管厚設計（ガス相、デンス相）	不安定延性破壊 ガス減圧挙動
9～11章	建設、運用、再適格化		
Annex	A: CO ₂ ストリームの組成例、B: CO ₂ の特性、C: 内面腐食、D: 不安定延性破壊防止、E: 安全管理のための必要データ、F: デンス相CO ₂ の減圧挙動		

注）赤字はISO27913に関する重要な技術ポイント

ISO27913の内容（1）

➤ 3章：用語と定義

- ✓ CO₂ストリーム：CO₂が主成分となっているガスや流体（通常>95mol%）
- ✓ デンス相：単相流体状態で密度が500 kg/m³以上のCO₂またはCO₂ストリーム
- ✓ フローアシュアランス：パイプライン内の流体の挙動を、流動状態および静止状態の両方での理解に必要な工学的分野
- ✓ 延性破壊：ひび割れや応力集中部位が伝播することで発生する破壊機構で、局所的に大きな塑性変形が伴う
- ✓ インライン検査（ILI）：パイプラインの清掃、液体の除去、腐食検出などの保守作業を目的としてパイプライン内に検査ツールを送りこむ
- ✓ バブル点圧力：特定の組成と温度における飽和液体の圧力

➤ 5章：CO₂、CO₂ ストリームの特性

- CO₂は相境界を越えると特性が大きく変化するため多相流を避ける。
- CO₂ストリームの組成に応じて相図や物理的・化学的特性が変化し、不安定延性破壊に対する設計パラメーターに用いられるバブル点圧力が変化する。
- 不純物は熱力学的特性やシステムの健全性に影響するため、組成の管理が重要。

ISO27913の内容（2）

➤ 6章：コンセプト開発と設計基準

CO₂パイプライン特有の設計要件および推奨事項が記載されている。

- 安全哲学、信頼性と可用性
- システム設計の原則：パイプラインの健全性確保のための要件。
 - ✓ CO₂>95mol%は業界慣行である。
 - ✓ 非凝縮性不純物(H₂、O₂、N₂、CH₄、Ar、CO)<5mol%は業界慣行である。
 - ✓ いかなる操業条件においても水相、水和物が生成しないように十分なマージンをもって成分仕様を決定する。
 - ✓ デンス相での最低操業圧力は不純物影響を考慮した気液境界圧力以上とする。
 - ✓ 軽い不純物成分はデンス相での不安定延性破壊に影響することを考慮する。
- 腐食防止の原則：
 - ✓ 内面腐食防止のためにはCO₂ストリームを十分に脱水することが基本である。
 - ✓ 水相が生成し腐食を生じないように、十分な設計マージンをもって最大水分量を設定する。
 - ✓ 内部腐食、ハイドレード形成防止のために、脱水と湿度管理を行う。
- フローアシュアランス：CO₂ストリームを問題なく輸送するための技術的な課題と対策。
- パイプラインの配置：ベントやポンプなどシステムの設計と配置に関する考慮事項。

ISO27913の内容（3）

➤ 7章：材料とパイプライン設計

- AMPPガイド21532は、CO₂ ストリームの輸送および圧入に関する腐食防止と材料選定の指針を提供。
- 腐食防止：腐食や割れを考慮し、運用条件下で腐食をマージン内に収まるように設計。
- 材料選定：鋼材（ISO3183準拠、低温や腐食に耐えられる）、外部コーティング（減圧時温度低下や断熱特性）、非金属材料や潤滑油（CO₂ストリームとの適合性）

➤ 8章：管厚設計

- 設計荷重：最大及び最小内圧、異常時の圧力勾配の他、温度、流量、CO₂ストリームの特性、およびパイプラインルート之地形等を考慮。
- 最小管厚：内圧、動的圧力変動、不安定延性破壊に対応した最小管厚を検討する。
- 破壊靱性：API 5L AnnexGに規定されたDWTTとシャルピー試験の要求に満足する。

注）DWTT：鋼材の破壊モード（延性破壊か脆性破壊か）を実厚に近い大型の試験片で評価する

シャルピー：鋼材が衝撃に対してどれだけエネルギーを吸収して破壊するかを小型試験片で評価する

ISO27913の内容（４）

➤ 9 章：建設

- 建設及び試運転前の手順に対するCO₂パイプライン特有の考慮事項。
 - ✓ 溶接、現場曲げ、曲率半径、指圧試験、取り扱い設備など
 - ✓ LNG、LPGパイプライン規格等にガイダンスがある
- 試運転前準備として、腐食リスク低減のためCO₂充填前に窒素や乾燥空気による乾燥。

➤ 10 章：運用

- CO₂パイプラインの安全かつ信頼性の高い運用を確保するための最低要件が記載。
 - ✓ 運転前（検査、水圧試験、排水乾燥）、停止（圧力変動による多相防止）、減圧（冷却による破壊防止で減圧速度の管理）、ベント（ドライアイス化防止）
 - ✓ 健全性確保（CO₂ストリーム組成、温度、圧力の制御）、モニタリング（水分、不純物）、CO₂質量測定（濃度）

➤ 11 章：再適格化

- 既存のパイプラインをCO₂用途へ転用するための考慮事項が記載。

ISO27913の内容（5）

- Annex A：CO₂ストリームの組成
 - 6章に記載されたパイプラインの健全性確保のための要件を反映した組成の例。設計者に提供するガイドラインであり、CO₂輸送システムが準拠すべき仕様を示したものではない。
- Annex B：CO₂の特性
 - CO₂の偶発的放出、放出速度、拡散モデリング
- Annex C：内部腐食と侵食
 - 内部侵食を最小限に抑える対策、不純物が内部腐食の与える影響、内部侵食の制御、侵食の最小化、環境クラックの最小化。
- Annex D：不安定延性破壊の防止、破断停止のアプローチ
 - DNV-RP-F104に基づいたアプローチ。
- Annex E：健全性管理計画に必要なデータ
- Annex F：デンス相CO₂ストリームの減圧
 - 減圧挙動、過剰な冷却の防止、温度を維持するための減圧方法。

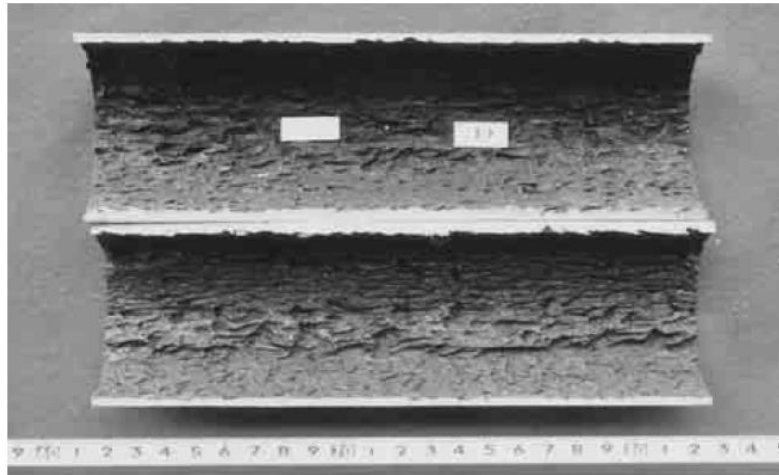
CO₂パイプラインの材料課題

□ CO₂腐食

- 湿潤環境下でCO₂は水に溶解し炭酸を形成して弱酸性を示し、炭素鋼は激しく腐食する

水の生成しない環境で炭素鋼が使用可能

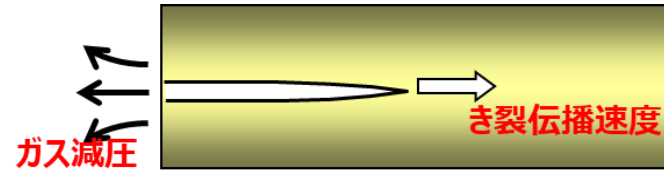
出展：JFE技報(2007)



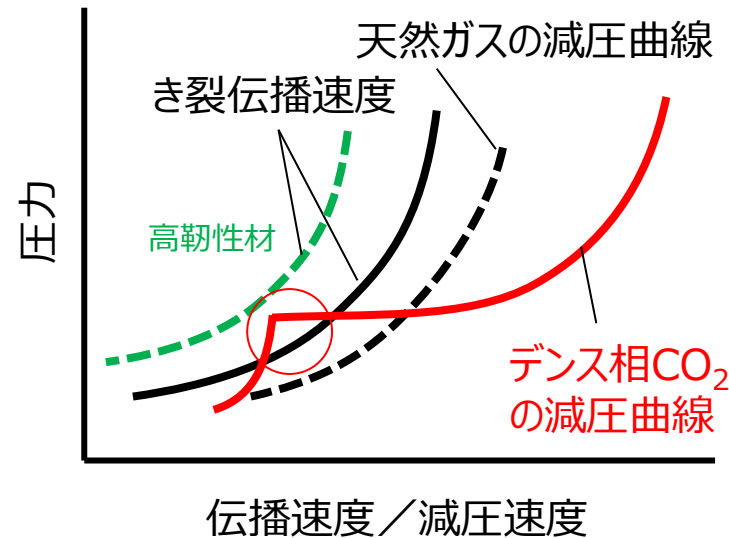
湿潤CO₂による腐食事例

7章：内面腐食
Annex A：CO₂ストリームの成分例

□ 不安定延性破壊

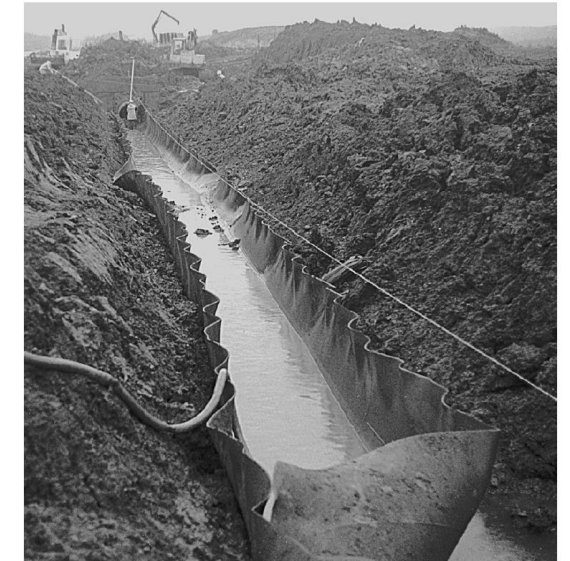


き裂停止条件：
き裂伝播速度 ≤ ガス減圧速度



8章：管厚設計
Annex D：不安定延性破壊停止

出展：HLP委員会



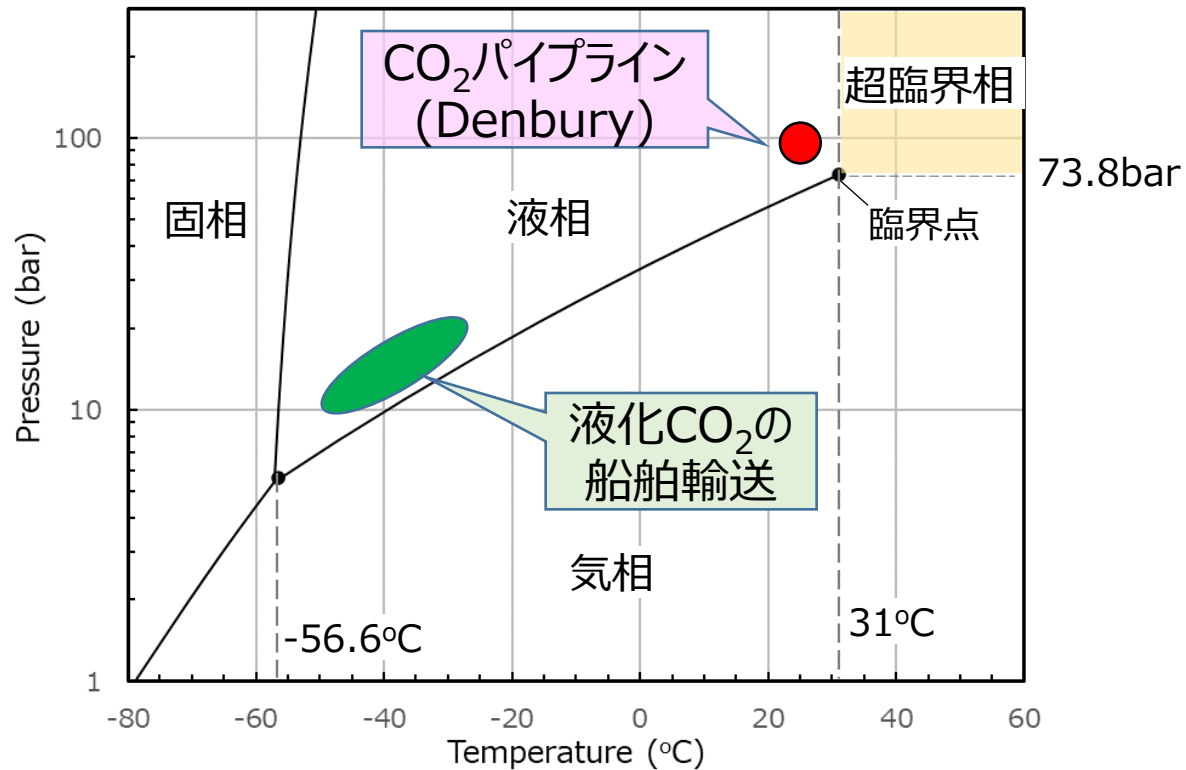
天然ガスのフルガスバースト実験

- CO₂ラインパイプではき裂伝播を停止するための管厚設計と材料靱性が必要
- 天然ガスではBattelle Two Curve法(左図)が用いられる

CO₂ガスの特徴

□ Pure CO₂の状態図

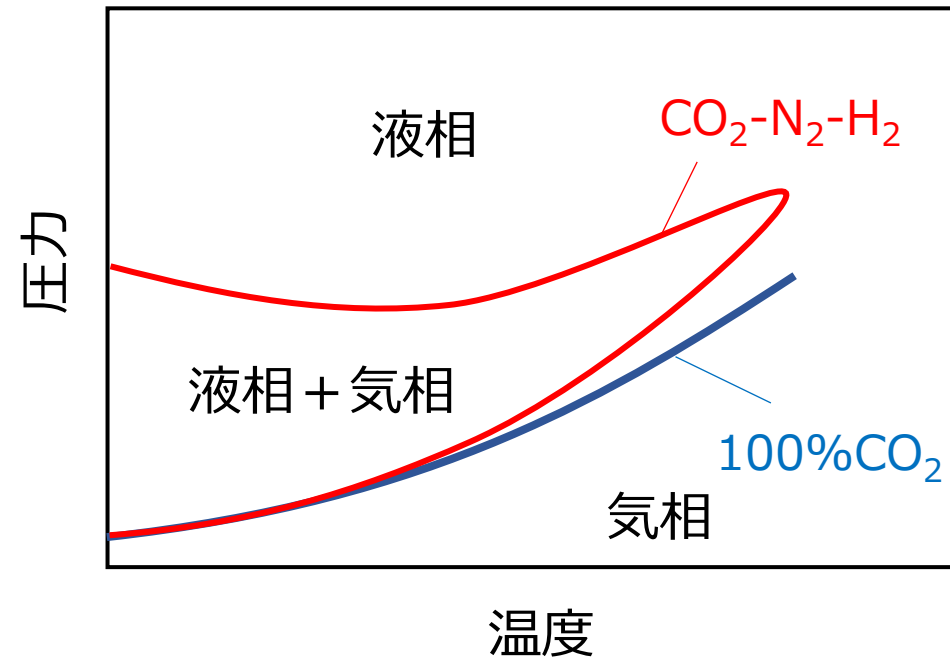
出展：DNV RP-F104をもとに作成



デンス相(Dense phase)の定義

- ・臨界点以上の超臨界相と液相（一般的）
- ・密度500kg/m³以上の単相流体（ISO27913）

□ 気液相境界への不純物の影響(模式図)



不純物ガスの混入により気液二相領域が拡大
→ガス減圧挙動等に影響

6章：CO₂ストリームの成分規定
Annex A：CO₂ストリームの成分例

Annex A CO₂ストリームの成分例

- 第6章の基本指針を反映したガイドラインであり、準拠すべき仕様を示したものではない
- 現在の科学的知見に基づいて数字を設定しているが、**不明確な点は安全側に設定**
- 不純物レベルを緩和する場合は安全性を証明する**

成分	DNV-RP-F104(CCS)	AMPP Guide 21532-2023	ISO27913-2024	
			Gas phase	Dense phase
CO ₂	Bal.	Bal.	>95.0mol%	>95.0mol%
H ₂ O	50-100ppm	≤100ppm	≤50ppm	≤100ppm ^{*1}
H ₂ S	≤100ppm	≤10ppm	≤5ppm	≤55ppm
SO _x	≤100ppm	≤10ppm	≤10ppm	≤1ppm
NO _x		≤10ppm	≤10ppm	≤1.5ppm
H ₂	-	-	≤1.0mol%	≤1mol%
N ₂	-	-	≤4.0mol%	-
O ₂	≤10ppm	≤20ppm	≤10ppm	≤10ppm
N ₂ +H ₂ +Ar+CO+CH ₄			<5mol%	<5mol%

^{*1} O₂, NO_x, SO_xが十分に低いレベルなら緩和可(ex.630ppm)

腐食に影響

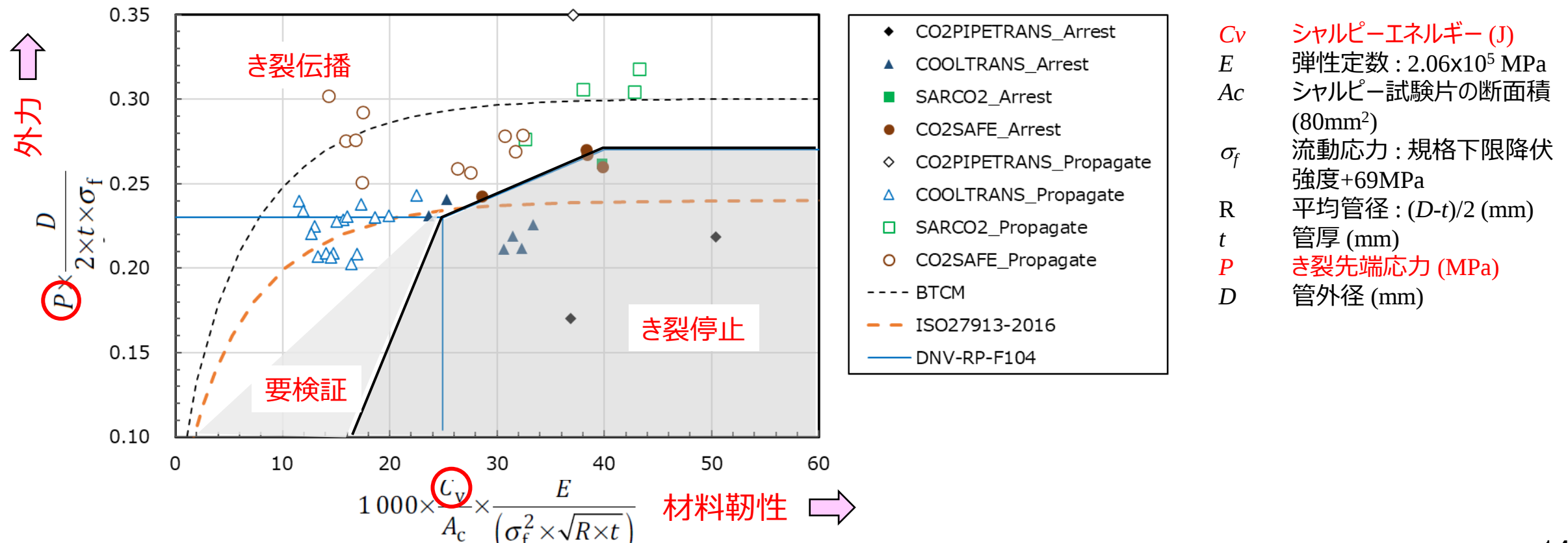
不安定延性破壊
に影響

管厚設計

- 内圧に対する最小管厚
 - ✓ 内圧のみに対する最小管厚は既存のパイプライン規格を参照する。
- 不安定延性破壊防止のための最小管厚（気相）
 - ✓ ガス相のCO₂輸送の場合はBattelle Two Curve法(BTCM)を適用する。
 - ✓ ただし、BTCMのガス相CO₂への適用性は実験で検証されていない。
- 不安定延性破壊防止のための最小管厚（デンス相）
 - ✓ 減圧による温度低下がDWTT試験温度を下回らないように減圧速度を制御する必要がある。できない場合は不安定延性破壊を停止するためにクラックアレスターを適用する。
 - ✓ ガスパイプラインの延性破壊防止法は、API 5L Annex Gに記載されている修正BTCMがあるが、高密度相CO₂では、安全側の設計にならない場合がある。
 - ✓ DNV-RP-F104の手法は、高密度相CO₂による大規模試験から導出された経験的許容基準に基づいている。
 - ✓ 現時点での知識に基づいて推奨される方法をAnnex Dに示す。

Annex D 不安定延性破壊の防止（デンス相）

- 現在のアプローチはDNV-RP-F104に基づいている。特別な評価が必要な領域は、安全側の結果となるように修正されているが、この領域では安全性を実証しなければならない。
- DNV-RP-F104の表5-5に適用制限が定義されており、制限外の条件への適用するためには、その正当性の証明が必要である。
- 破壊停止限界の推定基準を図D.1に示す。



Annex Dの評価図とCO₂バースト試験結果及び各種評価式との比較