

# CO<sub>2</sub> パイプライン インフラストラクチャー

2014 年 1 月



本レポートは日本メンバーの便宜のため英語から日本語に翻訳したものです。グローバル CCS インスティテュートは、本レポートの日本語版に翻訳された内容の正確性、信頼性、または完全性を保証するものではありません。

## **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY**

The International Energy Agency (IEA) was established in 1974 within the framework of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) to implement an international energy programme. The IEA fosters co-operation amongst its 28 member countries and the European Commission, and with the other countries, in order to increase energy security by improved efficiency of energy use, development of alternative energy sources and research, development and demonstration on matters of energy supply and use. This is achieved through a series of collaborative activities, organised under more than 40 Implementing Agreements. These agreements cover more than 200 individual items of research, development and demonstration. IEAGHG is one of these Implementing Agreements.

## **DISCLAIMER**

This report was prepared as an account of the work sponsored by IEAGHG. The views and opinions of the authors expressed herein do not necessarily reflect those of the IEAGHG, its members, the International Energy Agency, the organisations listed below, nor any employee or persons acting on behalf of any of them. In addition, none of these make any warranty, express or implied, assumes any liability or responsibility for the accuracy, completeness or usefulness of any information, apparatus, product or process disclosed or represents that its use would not infringe privately owned rights, including any parties intellectual property rights. Reference herein to any commercial product, process, service or trade name, trade mark or manufacturer does not necessarily constitute or imply any endorsement, recommendation or any favouring of such products.

This document is published on the Global CCS Institute's website in the interest of information exchange. The Global CCS Institute does not give any representation or warranty as to the reliability, accuracy or completeness of the information, nor does it accept any responsibility arising in any way (including by negligence) for errors in, or omissions from, the information.

## **COPYRIGHT**

Copyright © IEA Environmental Projects Ltd. (IEAGHG) 2013.

All rights reserved.

## ACKNOWLEDGEMENTS AND CITATIONS

This report describes research commissioned by IEAGHG on behalf of The Global CCS Institute. This report was prepared by:

Ecofys

### The principal researchers were:

- Paul Noothout, Ecofys
- Frank Wiersma, Ecofys
- Omar Hurtado, SNC-Lavalin
- Patrick Roelofsen, SNC-Lavalin
- Doug Macdonald, SNC-Lavalin

To ensure the quality and technical integrity of the research undertaken by IEAGHG each study is managed by an appointed IEAGHG manager. The report is also reviewed by a panel of independent technical experts before its release.

### The IEAGHG manager for this report was:

Jasmin Kemper

### The expert reviewers for this report were:

- Andrea Ramirez, Utrecht University
- Harsh Pershad, Element Energy
- Jan Uilenreef, ROAD
- Jérémy Veltin, TNO
- Klaas van Alphen, Energy Pipelines CRC
- Michael Drescher, Statoil

The report should be cited in literature as follows:

'IEAGHG, "CO<sub>2</sub> Pipeline Infrastructure", 2013/18, December, 2013.'

Further information or copies of the report can be obtained by contacting IEAGHG at:

IEAGHG, Orchard Business Centre,  
Stoke Orchard, Cheltenham,  
GLOS., GL52 7RZ, UK

Tel: +44(0) 1242 680753 Fax: +44 (0)1242 680758

E-mail: [mail@ieaghg.org](mailto:mail@ieaghg.org)

Internet: [www.ieaghg.org](http://www.ieaghg.org)

# Executive summary

## 研究の目的

1. CO<sub>2</sub>パイプラインインフラに関する本研究の目的は、既存の CO<sub>2</sub>パイプラインインフラに関する公開情報を総合的なデータベースと参考文献としてとりまとめることにある。本研究では特に、CO<sub>2</sub>パイプラインに特有のトピックと他のガスパイプラインとの相違点を中心的に取り上げている。本研究は、IEA 温室効果ガス研究開発プログラム (IEAGHG) とグローバル CCS インスティテュート (以後「インスティテュート」) より委託を受けたものである。
2. 本参照マニュアルは、29 の CO<sub>2</sub>パイプラインプロジェクトに関する詳細な情報を記録したデータベースを補完するものである。このマニュアルには、結果の概要およびこれらのプロジェクトによる全体的な教訓が記載されている。さらに、このマニュアルは、データベースにある情報一式にアクセスするためのガイドともなっている。このマニュアルは、CO<sub>2</sub>パイプラインプロジェクトに携わってはいるが、通常は詳細な工学的計算やコストの見積もりには取り組んでいないプロジェクト開発者、規制機関、行政機関をサポートするために作成されたものである。
3. 主として米国において、約 6,500km の CO<sub>2</sub>パイプラインが、石油増進回収 (EOR) のために何年にもわたり操業を続けている。さらに、欧州およびアメリカ大陸には、CO<sub>2</sub>の再利用または CO<sub>2</sub>回収貯留 (CCS) 事業に使用中の多くの CO<sub>2</sub>パイプラインが存在する。初期の構想段階から建設および操業段階に至るあらゆるフェーズに関わるこれらの CO<sub>2</sub>パイプラインプロジェクトから、貴重な経験と教訓を得ることができる。
4. 情報は、多数の文書およびパイプライン設計者、建築者、操業者へのインタビューのレビューに基づき収集された。しかしながら、秘密保持のためまたは実務上の理由から、地域およびプロジェクトによっては、入手できた情報は限られている。

## CO<sub>2</sub>パイプラインの機能と資金調達

5. CO<sub>2</sub>パイプラインは異なるタイプの排出源や吸収源 (シンク) を接続する。最も一般的な排出源は、ガス処理プラント、化石燃料発電所、天然の CO<sub>2</sub>の排出源である。一般的なシンクは、深部塩水層および EOR 用の油田であるが、プロジェクトの目的が温室効果ガス排出削減である場合は、枯渇した油田およびガス田も使用される。
6. 複数の CO<sub>2</sub>排出源とシンクが存在する場合、収集、輸送、配送ネットワークが構築される可能性がある。なかには、個別の排出源からの CO<sub>2</sub>が収集され、そこから様々な CO<sub>2</sub>顧客が供給を受けるといった米国で幾つか操業中のハブのような興味深い事例もある。
7. CO<sub>2</sub>パイプラインプロジェクトには、大規模なインフラに多額の投資を行う必要がある。CO<sub>2</sub>パイプラインの資金調達源は、パイプラインの目的により異なる。
8. 米国では、CO<sub>2</sub>パイプラインインフラの開発を牽引するのは主として石油増進回収である。民間企業や共同企業体が、石油の二次生産からの収益を、プロジェクトを財務的に成立させる要因とみなして、商業的企業としてプロジェクトの開発に協力する可能性がある。市場の状況の変化、特に石油価格の低下によりプロジェクトが中止された事例もある。カーボンオフセットが補助的な収益源となる可能性もある。

9. 欧州のプロジェクトの大部分は、CO<sub>2</sub> 排出削減のオプションとしての CO<sub>2</sub> 貯留に焦点を置いている。このケースでは、プロジェクトを正当化するかどうかは、CO<sub>2</sub> 排出削減の義務、または欧州の排出量取引制度(ETS)やノルウェーの炭素税といった、CO<sub>2</sub> 排出に伴うコストのどちらかに基づいている。
10. 多くのプロジェクトで、既存の石油・ガスパイプラインやインフラが CO<sub>2</sub> の輸送や圧入に再利用された。これが可能な場合、投資コストが大きく節減される可能性がある。

## CO<sub>2</sub>パイプラインの規制体制および許認可

11. 1970年代、CO<sub>2</sub>パイプラインがまだ登場して間もない頃、CO<sub>2</sub>パイプラインに特化した設計規則や標準はなかったため、設計は天然ガスパイプライン用の規則に基づいていた。1989年前後に、CO<sub>2</sub>業界の安全実績(良好であった)とは無関係に、CO<sub>2</sub>パイプラインが破断した場合に重大な被害をもたらす可能性があることから、CO<sub>2</sub>パイプライン向けの具体的な規制が米国で発表された。
12. 欧州委員会は、CCS指令で、天然ガス輸送パイプラインに適用されている枠組みが CO<sub>2</sub> 輸送の規制に適していると結論づけた(欧州委員会 2008)。CO<sub>2</sub>の輸送と天然ガスの輸送の間には「天然ガスのような爆発のリスクは(CO<sub>2</sub>輸送には)ないものの」、多くの類似性がある。
13. CO<sub>2</sub>パイプラインに特化して実施された環境影響評価は数少ない。主に、このパイプラインはより大規模な EOR または CO<sub>2</sub>回収貯留プロジェクトの一環として建設されたからである。
14. プロジェクト開発者は、焦点を絞った行動を取れるように、社会的関心の重要な原動力となるものは何かということを理解することが重要である。何名かのパイプライン操業者とのインタビュー(そのうちの多くは米国)では、多くの場合、社会的関心が高まったが、CO<sub>2</sub>パイプライン自体はその中心ではなく、他のパイプラインプロジェクトとそれほど変わらないとみなされているということが示唆されている。むしろ通常、社会的関心はパイプラインの接続先である発電所または CO<sub>2</sub>貯留プロジェクトに関連している。しかしながら、社会的関心の中心となってきた CO<sub>2</sub>パイプラインの事例もある。このような社会的関心に対応するには、効果的な対話戦略と質の高い情報の提供が重要である。
15. CO<sub>2</sub>パイプラインの要件は、高圧天然ガス移送パイプラインに必要な要件と類似している。CO<sub>2</sub>パイプラインに固有の特徴は、以下の3つに分類される。
  - 規制当局および一般市民は通常、CO<sub>2</sub>パイプラインにはなじみがない。
  - 世間では、CO<sub>2</sub>パイプラインは CO<sub>2</sub>の地層貯留に関連して認識されているリスクから切り離されておらず、ほぼ間違いなく、共通点があるとみなされている。
  - CO<sub>2</sub>ガスの特性により、天然ガス用のものとは異なる設計パラメータ、リスク特性の認識およびそれらに基づく評価が必要である。

## CO<sub>2</sub>パイプラインの計画、設計および建設

16. CO<sub>2</sub>パイプラインの設計は、コスト、安全、設計基準規格で規制される。一般に、設計プロセスには以下に挙げた規格が1つ以上適用される。基準からの逸脱があるとすれば、規制当局に対し、それを正当化する必要がある。
17. 一般によく使用される標準は以下のとおりである。

- カナダ:CAN/ SCA(カナダ規格協会) Z662 パイプライン設計規格。
  - 米国:CFR(連邦規制基準)49 パート 195 および ASME B 31.4 パイプライン設計標準。
  - 欧州:DNV-RP-J202、Det Norske Veritas(ノルウェー船級協会)(2010年4月)によるCO<sub>2</sub>パイプラインの設計・運用に係る推奨事項、およびプロセス設計用のNORSOK標準P-001。
  - オーストラリア: AS2885 規格が、ガスおよび石油のパイプラインの設計、建設、試験、運用、メンテナンスに関連して使用されている。
18. CO<sub>2</sub>パイプラインに関連した重要な補機類にはブースター圧縮機またはポンプ、制御システム、通気装置、弁(ブロック弁、チェック弁、緊急停止弁)が含まれる。パイプラインを信頼性をもって安全に運用するうえで、これらの装置が重要な役割を担う。ユーザーおよびCO<sub>2</sub>の生産者、ならびに操業ライセンスの維持の観点からすれば、これらは必須のテーマである。CO<sub>2</sub>を排出源からパイプラインの吸気口まで送るための一次圧縮と脱水のための設備は、通常、パイプラインというよりもむしろ回収施設の一部と考えられている。
19. 建設の後、操業に向けての重要なステップとなるのは引き渡しと試験である。静水圧試験済みのCO<sub>2</sub>パイプラインは、システムの運用開始時に発生する可能性がある腐食を防ぐため、試験の終了時点で洗浄されて乾燥される(カナダ規格協会、2012)。静水圧試験のあとに残留水が存在すると、パイプラインの腐食が促進され、早期に故障が発生する可能性があるため、乾燥手順を慎重に設計し、従う必要がある。
20. ガスとしてのCO<sub>2</sub>の特有の性質と相転移特性のため、結果的に起動、定期点検、停止、換気の手順は、天然ガスパイプラインの場合とはかなり異なる。

## CO<sub>2</sub>パイプラインの操業および安全統計

21. 一般的にCO<sub>2</sub>パイプラインは、CO<sub>2</sub>回収貯留プロジェクトの構成要素の中で最も操業上信頼できる。パイプラインは、通常、供給者とユーザーの双方の操業上のニーズに応え、柔軟に対応できる。
22. 一般的に各操業者は、規制要件として、各パイプラインシステムに対し、通常時の操業と保守、及び、異常操業や緊急事態への対応のための手順を記した最新のマニュアルを作成し、それに従わなければならない。
23. 異常な圧力低下、温度、水分その他の不純物は、遠隔監視・制御(SCADA)システムを使用してモニターされる重要な操業パラメータである。圧力の低下は、漏出の可能性を示し、このような逸脱によりアラームが発せられる。
24. 外部の影響を最小限に抑えることは、設計の重要な焦点であり、パイプラインの埋設はこの目的を達成するための選択肢の1つである。それでもパイプラインは、掘削などの建設活動の影響を受ける可能性がある。大部分の国では、パイプライン回廊から一定の距離(一般に、パイプラインから5メートル)内では建設活動が禁止されている。さらに、パイプライン回廊は、建設活動がその回廊の近くでなされたかどうかを判断するために毎週目視検査される。
25. パイプラインの状態は、パイプラインを通るツール(「ピグラン」)を使用して検査され、掘削しての外部検査で補完される。このピグは、パイプラインの内部を洗浄し、パイプラインの壁の厚さや直径を測定し、腐食の可能性を検出する。CO<sub>2</sub>の物理的特性(潤滑性の欠如、特定の非金属材料との相互作用)に対応するために、特別な規定やピグの設計思想が必要となる可能性がある。

26. CO<sub>2</sub>パイプラインの事故発生頻度の統計資料によれば、天然ガスパイプラインの事故頻度と大きな相違はないことが示されている。しかしながら、天然ガスパイプラインの事故に伴う危険性のほうが、物的損害のみならず死傷等の人的被害の両方の観点から、CO<sub>2</sub>パイプラインの場合よりも深刻なものとなりがちである。CO<sub>2</sub>パイプラインの長さが限定されていることと、事故統計にサンプリングのエラーがあり得ることから、CO<sub>2</sub>パイプラインの事故発生率が他のガスパイプラインと系統的に異なるかどうかについて、明確な結論を下すことはできない。

## CO<sub>2</sub>パイプラインのコスト

27. 特定の CO<sub>2</sub>パイプラインのコストについて公的に入手可能な情報はほとんどない。この情報は、営利的な理由で部外秘として取り扱われている。
28. 公的なデータがない場合は、パイプラインの資本コストは、信頼できる情報源に基づき見積もることができる。最近の情報源は、米国エネルギー省国立エネルギー技術研究所 (NETL) による『NETL の研究における CO<sub>2</sub> の輸送および貯留コスト』(NETL, 2013) と題した報告書である。このようなアプローチは、プロジェクトのコスト見積もりの目安として使用されるべきであり、正確な見積もりとして使用されるべきではない。



# Table of contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Background	1
1.2	Purpose of the study	1
1.3	Methodology	2
1.4	Availability of data	5
1.5	Database and web-viewer complementing this Reference Manual	6
1.6	Setup of this manual	9
	<b>SECTION A Lessons learned from existing projects</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Drivers for CO<sub>2</sub> pipeline projects</b>	<b>13</b>
2.1	CO <sub>2</sub> pipeline drivers	13
2.2	Source, destination and purity of CO <sub>2</sub> stream	14
2.3	CO <sub>2</sub> hubs and networks	16
2.4	Commercial drivers for CO <sub>2</sub> pipeline projects	18
2.5	Additional funding sources	21
<b>3</b>	<b>Pipeline infrastructure and related equipment</b>	<b>23</b>
3.1	Dimensions of pipelines	23
3.2	Length and capacity of pipelines	23
3.3	Reuse of existing pipelines	25
3.4	Pipeline crossings	26
3.5	Corrosion protection	27
3.6	Auxiliary equipment - Compression	27
3.7	Auxiliary equipment - Dehydration	28
3.8	Auxiliary equipment - Valves	31
3.9	Flow Metering	32
3.10	Crack Arrestors	32
<b>4</b>	<b>Regulatory regime and permitting</b>	<b>33</b>
4.1	Europe - Environmental Impact Assessment	33
4.2	North America: Environmental Impact Statement	35
4.3	Content of environmental assessments	36
4.4	Regulatory framework for CO <sub>2</sub> pipelines	37
4.5	Timeline for permitting of CO <sub>2</sub> pipeline projects	39
<b>5</b>	<b>Public concern and safety statistics</b>	<b>41</b>
5.1	Drivers of public concern	41
5.2	Addressing public concern	42

5.3	Public communication	43
5.4	Safety measures, requirements and statistics	46
<b>6</b>	<b>Research and centres of excellence</b>	<b>49</b>
6.1	Research programmes	49
6.2	Pipeline technology development	51
6.3	Standardisation	52
6.4	Overview of key centres of excellence	53
<b>SECTION B Guideline for assessment of CO<sub>2</sub> pipeline projects</b>		<b>55</b>
<b>7</b>	<b>CO<sub>2</sub> pipeline project phasing</b>	<b>57</b>
7.1	Project phases	57
7.2	Phase 1 - Identification and evaluation	58
	7.2.1 Project concept	59
	7.2.2 Basic design parameters and design capacity	59
	7.2.3 Pipeline route selection	60
	7.2.4 CO <sub>2</sub> hubs and main pipelines	60
	7.2.5 Conceptual design, costs, preliminary economics	61
	7.2.6 Business plan development	61
7.3	Phase 2 - Project definition	61
	7.3.1 Environmental Impact Assessment	62
	7.3.2 Initial permit application	62
	7.3.3 Public participation	62
	7.3.4 Other activities	62
7.4	Phase 3 – Execution: detailed design, construction and start-up	63
7.5	Phase 4 – Operation	63
7.6	Phase 5 – Decommissioning	64
<b>8</b>	<b>CO<sub>2</sub> pipeline cost</b>	<b>65</b>
8.1	Key cost drivers	65
8.2	Pipeline costs background	66
8.3	Estimate of pipeline costs	67
8.4	Costs and crossings with other infrastructure	69
8.5	O&M costs	69
8.6	Estimated and actual pipeline costs comparison	69
8.7	CO <sub>2</sub> pipeline capital cost analysis and commentary	70
	8.7.1 Pipeline costs	70
	8.7.2 Compression and dehydration costs	73
<b>9</b>	<b>CO<sub>2</sub> pipeline permitting</b>	<b>75</b>
9.1	Regulatory requirements	75
9.2	Public consultation	75
9.3	Permit application	76

<b>10 CO<sub>2</sub> pipeline FEED studies and Design</b>	<b>78</b>
10.1 Scope and contents for CO <sub>2</sub> pipeline studies	78
10.2 Input and external information requirements	80
10.3 Summary topics specific to design of CO <sub>2</sub> pipelines	81
10.4 Design standards	83
10.5 Definition of key design parameters	85
<b>11 Construction of CO<sub>2</sub> pipelines</b>	<b>86</b>
11.1 Construction planning and timelines	86
11.2 Commissioning and testing	89
<b>12 CO<sub>2</sub> Pipeline operation, inspection and maintenance</b>	<b>90</b>
12.1 Operational requirements / constraints of CO <sub>2</sub> sources and users	90
12.2 Planning for pipeline operation	91
12.3 Consideration of key operational parameters	92
12.4 Defining the inspection and maintenance program	93
12.5 Inspection activities for CO <sub>2</sub> Pipelines	94
12.6 Maintenance activities for pipeline and equipment	96
<b>13 CO<sub>2</sub> Pipeline decommissioning and abandonment</b>	<b>97</b>
<b>SECTION C Overall findings and conclusions</b>	<b>99</b>
<b>14 Key findings and conclusions</b>	<b>101</b>
14.1 Existing CO <sub>2</sub> pipelines	101
14.2 Available information	101
14.3 Drivers for CO <sub>2</sub> pipeline projects	103
14.4 Routing of CO <sub>2</sub> pipelines	103
14.5 Design considerations	104
14.6 Regulatory regime	105
14.7 Permitting	105
14.8 Safety statistics	106
14.9 Public concern	106
14.10 Costs	107
14.11 Trends and developments: Future CO <sub>2</sub> Pipelines	108
14.12 Guidance for realisation of CO <sub>2</sub> pipeline projects	109
<b>Acknowledgements</b>	<b>110</b>
<b>References</b>	Error! Bookmark not defined.
<b>Appendices</b>	<b>116</b>
Appendix A List of CO <sub>2</sub> Pipelines	117
Appendix B Checklist used for data collection	118



[GLOBALCCSINSTITUTE.COM](http://GLOBALCCSINSTITUTE.COM)

The Global CCS Institute has tried to make information in this product as accurate as possible. However, it does not guarantee that the information is totally accurate or complete. Therefore, the information in this product should not be relied upon solely when making commercial decisions. The Global CCS Institute has no responsibility for the persistence or accuracy of URLs for external or third-party internet websites referred to in this publication and does not guarantee that any content on such websites is, or will remain, accurate or appropriate.