

特定二酸化炭素ガスに含まれる不純物について

2025年3月28日

1. 背景及び目的

1. 1 背景

わが国では、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すために関連するあらゆる取り組みを加速させていかなければならない。その取り組みのひとつである、特定二酸化炭素ガス¹の海底下廃棄（以下、「海底下 CCS」という。）は、北海道苫小牧沿岸域において実証試験が2012年から開始され一定の成果をあげている。

海底下 CCS 事業の実施にあたり、事業者は海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（昭和45年法律第136号。以下「海洋汚染等防止法」という。）や海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令（昭和46年政令第201号。以下「海洋汚染等防止法施行令」という。）等に基づき、許可申請書やそれに添付する書類（実施計画、監視計画等）を作成し、環境大臣に申請することとなっている。

一方で、規制改革推進会議第5回成長戦略 W.G.（令和3年2月12日）において、海洋汚染等防止法の CCS 許可申請等に係る規制の見直しが求められ、これについては規制改革実施計画（令和3年6月18日閣議決定）において、対応事項が示された。

また、今後の海底下への二酸化炭素回収・貯留に係る海洋環境の保全の在り方について、令和5年8月より中央環境審議会において検討が進められ、検討結果について、中央環境審議会会長から環境大臣に、令和6年1月19日付「今後の海底下への二酸化炭素回収・貯留に係る海洋環境の保全の在り方について（答申）」が示された。当該答申の「(3) 貯留する二酸化炭素流の特性 —— 論点② イ 今後講ずべき措置」では、以下記述が示されている。

（以下、抜粋）

アミン化学吸収法のみを定める分離・回収の方法を定める規定については、これまでの環境省における検討会の結果を踏まえるとアミン化学吸収法と同程度の性能を有する分離・回収方法も柔軟に活用できるよう見直すべきである。二酸化炭素の濃度の基準については、今後、海外での貯留を目的として輸出する場合も想定されることから諸外国における基準の設定状況を考慮するとともに、圧入による坑井の腐食等の影響を含め、圧入するガスに含まれる不純物質による海洋環境影響を検討し、不純物質の濃度閾値について規定する可能性など、今後の知見の集積も踏まえ引き続き検討すべきである。

¹ 二酸化炭素が大部分を占めるガスで、政令で定める基準に適合するもの（海洋汚染等防止法第18条の7第2号）。

1. 2 目的

現行の海洋汚染等防止法施行令においては、海底下 CCS によって貯留できる二酸化炭素（以下、「CO₂」という。）の分離回収方法はアミン法（化学吸収法）のみと定めており、濃度は 99 %以上としている。また、特定二酸化炭素ガスに含まれる CO₂の濃度について、海洋汚染等防止法施行令第 11 条の 5 第 1 項第 2 号に定める基準に適合するかどうかの判定のために行う CO₂濃度の測定方法については、特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素の濃度の測定の方法を定める省令（平成 19 年 9 月 19 日環境省令第 22 号。以下「省令」という。）において規定されており、当該省令においては特定二酸化炭素ガス中に含まれる不純物の種類及びその濃度の測定方法についても規定されている。

一方でカーボンニュートラルを推進するための技術開発が進んでおり、アミン法以外の CO₂分離回収技術が開発され、CO₂の分離回収方法と濃度の規定に係る見直しが求められている。なお、特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可の申請手続が適正に行われるように定められた環境省告示第 83 号（平成 19 年 9 月 19 日）では、「今後の科学的知見の充実又は国際的な動向等を踏まえ、必要に応じて見直しを行う。」と明記されており、特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄が海洋環境保全上、合理的かつ適正に実施されるためには BAT (Best Available Techniques) の活用が前提となっている。

また、我が国では、2030 年までの二酸化炭素回収・貯留（以下、「CCS」という。）の事業化に向けて、民間事業者が CCS 事業を開始するための事業環境を整備するための法制度として、「二酸化炭素の貯留事業に関する法律」（以下、「CCS 事業法」という。）が第 213 回通常国会にて成立し、2024 年 5 月 24 日に公布された。これにより、海洋汚染等防止法における CO₂の海底下廃棄に係る許可制度は CCS 事業法に一元化されたが、CCS 事業法では、海域に係る海底下 CCS 事業を対象に海洋環境保全の観点から必要な対応については、環境大臣の同意を得なければならないとしている。これまでに、環境省では海洋汚染等防止法に基づき海底下 CCS 事業に係る許可発給をした実績があり、今後も環境大臣の同意が必要な内容について審議する可能性がある。

CCS 事業において貯留層に圧入する特定二酸化炭素ガスに含まれる不純物は、排出源や採用する分離回収技術によって異なり、また、坑井や海洋環境に悪影響を及ぼす物質が含まれる可能性がある。国内の海底下 CCS 事業については、苫小牧大規模 CCS 実証試験において、水素製造で発生する CO₂ (PSA オフガス) をアミン法（化学吸収法）で分離回収し、海底下貯留層に圧入した事例がある。

今後、CCS 事業の社会実装に伴い、排出源（石炭火力発電所、鉄鋼プラント、セメントプラント等）で発生する CO₂について、化学吸収法以外で実用化が予想される分離回収技術（物理吸収法、固体吸収法等）によって分離回収された CO₂を貯留することが想定される。本事業では、分離回収された CO₂の濃度や不純物に関する技術的知見を蓄積することを目的として、分離回収技術ごとに CO₂に含有する可能性のある不純物を抽出し、国内プラントでみられる不純物の種類や、その濃度を確認するための適正な測定方法について

検討した。

本事業では、石炭火力発電所や鉄鋼プラントの施設で分離回収される CO₂ の貯留事業の可能性を考慮し、該当する 3 施設で事業者の協力のもと CO₂ 試料を採取し、CO₂ 及び不純物の濃度を分析した。それぞれの分析結果を 2. 以降に示す。また、事業者からの情報提供により収集した、セメントプラントで分離回収した CO₂ 試料の分析結果について、添付資料で紹介する。

2. 大崎クールジェン株式会社

2. 1 施設概要

施設概要を示す。

- 中国電力株式会社と J-POWER（電源開発株式会社）の共同出資により設立
- 所在地：広島県豊田郡大崎上島町（中国電力株大崎発電所構内）
- CO₂分離回収方式：物理吸収法

高効率発電技術である「酸素吹石炭ガス化複合発電（IGCC）」に関する国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）助成事業として実証試験を行っており、石炭をガス化し、生成されたガスを用いてガスタービンで発電する。従来の石炭火力発電に比べて高い効率が得られている。

IGCCにCO₂分離回収設備を付設し、発電過程で発生するCO₂を効率的に分離・回収する技術が確立されている。具体的には、石炭ガス化ガス中の一酸化炭素（CO）を水蒸気（H₂O）と反応させて二酸化炭素（CO₂）と水素（H₂）に変換し、CO₂のみを分離回収する設備が導入されている。

2. 2 試料採取

電源開発株式会社と大崎クールジェン株式会社の協力のもと、2024年9月30日に試料採取を実施した。試料採取にあたっては、99%未満の濃度のCO₂採取が見込まれる箇所をあえて選定した。採取箇所を図2-1に示す。試料は内壁をフューズドシリカ薄膜でコーティングし、不活性化処理（Silicosteel処理）されたキャニスター（GL-Scanキャニスター6L）3台に採取した。キャニスターは事前に加圧試験・真空引き（図2-2）を行い、コンタミネーションが無いように留意した。採取した試料は分析機関に送付し、分析に供した。

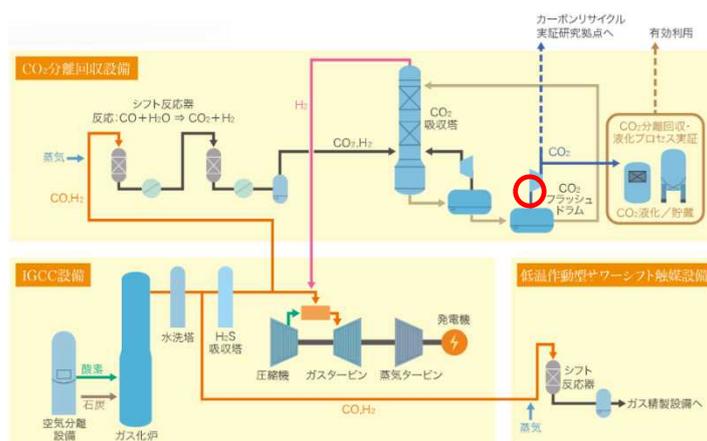


図 2-1 CO₂分離回収実証設備フロー図¹及び試料採取位置²（赤丸箇所）

² 大崎クールジェン(株)ホームページから引用、加筆。



図 2-2 パージ・真空引き状況

2. 3 分析項目及び分析方法

分析項目は事前に電源開発株式会社と協議し、パラメーター最適試験等で分析実績のある 9 項目（二酸化炭素、水素、窒素、酸素、メタン、一酸化炭素、アルゴン、硫化水素及び硫化カルボニル）とした。分析は事業者指定の株式会社巴商會が担当した。分析方法については株式会社巴商會が通常実施している方法を採用した。

2. 4 結果

分析結果を表 2-1 に示す。各成分の濃度、下限値、単位、採取方法、分析方法を記載した。採取方法はキャニスター捕集により採取し、持ち帰り分析に供した。CO₂はアルカリ吸収法により測定した。その他の項目は、GC/TCD 法、GC/FID 法及び GC/FPD 法によりガス成分を測定した。また、GC/TCD 法では O₂ と Ar のピークが重なるため、O₂ 換算により定量した。

ガス成分の濃度分析結果（乾燥基準）は以下の通り。

- CO₂ 濃度はアルカリ吸収法（下限値：94%）による直接測定では 96.5%であった。また、差数法では CO₂ 濃度は 97.3%となった。
- H₂ 濃度は 1.1% (11,000 ppm) であり、GC/TCD 法（下限値：100 ppm）により分析した。
- N₂ 濃度は 0.72% (7,200 ppm) であり、GC/TCD 法（下限値：100 ppm）により分析した。
- O₂ (O₂+Ar) の濃度は 0.11% (1,100 ppm) であり、GC/TCD 法（下限値：100 ppm）により分析した。
- CH₄ 濃度は 0.71% (7,100 ppm) であり、GC/FID 法（下限値：0.1 ppm）により分析した。
- CO 濃度は 0.040% (400 ppm) であり、GC/TCD 法（下限値：100 ppm）により分析した。
- H₂S と COS 濃度はいずれも定量下限値未満であり、GC/FPD 法（下限値：0.1 ppm）により分析した。

表 2-1 分析結果

項目	濃度 (dry ベース)	下限値	単位	採取方法	分析方法 ^{注2}
CO2	96.5	94	vol%	キャニスター捕集	アルカリ吸収法
H2	1.1 (%)	100	Volppm	キャニスター捕集	GC/TCD法
N2	0.72 (%)	100	Volppm	キャニスター捕集	GC/TCD法
O2+Ar ^{注1}	0.11 (%)	100	Volppm	キャニスター捕集	GC/TCD法
CH4	0.71 (%)	0.1	Volppm	キャニスター捕集	GC/FID法
CO	0.040 (%)	100	Volppm	キャニスター捕集	GC/TCD法
Ar	—	—	—	—	—
H2S	0.1未満	0.1	Volppm	キャニスター捕集	GC/FPD法
COS	0.1未満	0.1	Volppm	キャニスター捕集	GC/FPD法

注1；O2およびArは同一箇所にてピークが重なるため、O2換算により定量した。

注2；GC(ガスクロマトグラフ質量分析計), 熱伝導度検出器(TCD), 炎光光度検出器(FPD), 水素炎イオン化検出器(FID)

3. 製鉄プラント

3. 1 施設概要

製鉄プラント内に CO₂ 回収設備（化学吸収法）が併設されており、製鉄プラントの燃焼排ガスを CO₂ 回収源としている。回収された CO₂ は一般産業用途向けとして利用されており、不純物の多い原料ガスから高純度の CO₂ を製造することが可能である。

3. 2 試料採取

事業者の協力のもと、2024 年 12 月 10 日に試料採取を実施した。試料は① 原料ガス、② オフガス（吸収塔上部）及び③ CO₂ ガスの 3 箇所採取した。現地状況を図 3-1 に示す。採取した試料は分析機関に送付し、分析に供した。

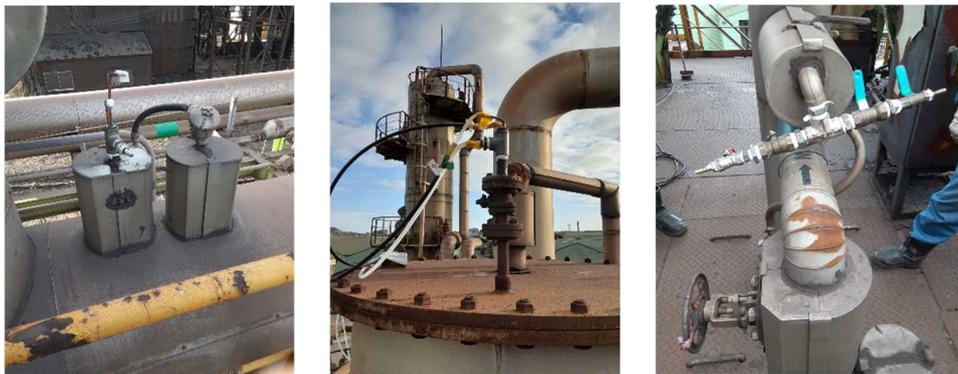


図 3-1 現地状況（左から① 原料ガス、② オフガス、③ CO₂ ガス）

3. 3 分析項目及び分析方法

分析項目については事前に事業者と協議し、9 項目（二酸化炭素、水素、窒素、酸素、メタン、一酸化炭素、アルゴン、硫化水素及び硫化カルボニル）に加え、有害物質として 3 項目（NO_x、SO_x 及び Hg）、Northern Lights のプロジェクトにおいて DNV（Det Norske Veritas）が独自の液化 CO₂ 基準として挙げている 4 項目（BTEX；ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン）及び吸収液の分解生成物として想定される 3 項目（アンモニア、アセトアルデヒド及びアミン類）の 19 項目とした。なお、水分（H₂O）については燃焼ガス試料のため対象外とした。分析は事業者指定の分析会社が担当した。分析方法については分析会社が通常実施されている方法を採用した。分析方法を表 3-1 に示す。なお、CO₂ ガス試料分析にあたり、高濃度 CO₂ が検出に干渉影響を与える可能性がある項目については、下段の分析方法を採用した。

表 3-1 分析方法

項目	採取方法	分析方法 ^{注2}	
CO ₂ ^{注1}	直接捕集	CO ₂ 自動測定器	JIS B 7986
	バッグ捕集	GC/TCD法	JIS K 2301
H ₂ ^{注1}	バッグ捕集	GC/TCD法	JIS K 2301
		GC/PDHID法	
N ₂	バッグ捕集	GC/TCD法	JIS K 2301
O ₂ ^{注1}	直接捕集	O ₂ 自動測定器	JIS B 7983
	バッグ捕集	GC/PDHID法	JIS K 2301
CH ₄	バッグ捕集	GC/FID法	JIS K 2301
CO ^{注1}	直接採取	CO自動測定器	JIS B 7987
	バッグ捕集	GC/FID法	—
Ar ^{注1}	バッグ捕集	GC/TCD法	—
		GC/MS法	—
COS	バッグ捕集	GC/SCD/MS法	—
H ₂ S	バッグ捕集	GC/SCD/MS法	—
NO _x (NO+NO ₂) ^{注1}	直接捕集	NO _x 自動測定器	JIS B 7982
	バッグ捕集	亜鉛還元-吸光光度法	JIS K 0104
SO _x (SO ₂ +SO ₃)	液体捕集	イオンクロマトグラフ法	JIS K 0103
Hg	液体捕集	還元気化原子吸光法	環境省告示第94号
Benzene	固体捕集	GC/MS法	作業環境測定ガイドライン
Toluene	固体捕集	GC/MS法	作業環境測定ガイドライン
Ethylbenzene	固体捕集	GC/MS法	作業環境測定ガイドライン
Xylene	固体捕集	GC/MS法	作業環境測定ガイドライン
NH ₃	液体捕集	イオンクロマトグラフ法	JIS K 0099
Acetaldehyde	固体捕集	HPLC法	有害大気汚染物質測定方法マニュアル
Amine	液体捕集	キャピラリー電気泳動法	

注1；CO₂濃度が高い試料（CO₂ガス）については各下段の分析方法を採用

注2；熱伝導度検出器(TCD), パルス放電ヘリウムイオン化検出器(PDHID), 炎光光度検出器(FPD), 硫黄化学発光検出器(SCD) 水素炎イオン化検出器(FID), 質量分析計(MS), ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS) 高速液体クロマトグラフ (HPLC)

3. 4 結果

分析結果を表 3-2 に示す。ガス成分の濃度と分析方法は以下の通り。

- ・CO₂濃度は原料ガスで 27.6%、オフガスで 6.5%であり、CO₂ガスは 99.5%であった。原料ガス及びオフガスはCO₂自動測定器（下限値：0.1 vol%）により現地で測定した。また、CO₂ガスは耐透過性に優れたアルミニウムバッグ捕集にて持ち帰り（以下、「バ

ッグ捕集」という。)、GC/TCD法(下限値:0.1%)により分析した。差数法によるCO₂濃度は99.8%であった。

- H₂濃度は原料ガスとオフガスとも1,000 ppmであり、CO₂ガスは1 ppmであった。各試料はバッグ捕集で採取し、GC/TCD法(原料ガス及びオフガス)及びGC/PDHID法(CO₂ガス)により分析した(いずれも下限値:1 ppm)。
- N₂濃度は原料ガスで66.5%、オフガスで84.5%であり、CO₂ガスは0.2%であった。各試料はバッグ捕集で採取し、GC/TCD法(下限値:0.01%)により分析した。
- O₂濃度は原料ガスで3.2%、オフガスで3.8%であり、CO₂ガスは0.01%であった。原料ガス及びオフガスはO₂自動測定器(下限値:0.01%)により現地で測定した。また、CO₂ガスはバッグ捕集で採取し、GC/PDHID法(下限値:0.01%)により分析した。
- CH₄濃度は原料ガスで160 ppm、オフガスで140 ppmであり、CO₂ガスは定量下限値未満であった。各試料はバッグ捕集で採取し、GC/FID法(下限値:1 ppm)により分析した。
- CO濃度は原料ガスで4,800 ppm、オフガスで6,800 ppmであり、CO₂ガスは2 ppmであった。原料ガス及びオフガスはCO自動測定器(下限値:1 ppm)により現地で測定した。また、CO₂ガスはバッグ捕集で採取し、GC/FID法(下限値:1 ppm)により分析した。
- Ar濃度は原料ガスで8,000 ppm、オフガスで10,000 ppmであり、CO₂ガスは220 ppmであった。各試料はバッグ捕集で採取し、GC/TCD法(原料ガス及びオフガス)及びGC/MS法(CO₂ガス)により分析した(いずれも下限値:10 ppm)。
- COS濃度は原料ガスで0.25 ppm、オフガスで0.14 ppmであり、CO₂ガスは定量下限値未満であった。各試料はバッグ捕集で採取し、GC/SCD/MS法(下限値:0.025 ppm)により分析した。
- H₂S濃度は原料ガスで0.13 ppm、オフガスで定量下限値未満であり、CO₂ガスも定量下限値未満であった。各試料はバッグ捕集で採取し、GC/SCD/MS法(下限値:0.025 ppm)により分析した。
- NO_x(NO+NO₂)濃度は原料ガスで11 ppm、オフガスで14 ppmであり、CO₂ガスは定量下限値未満であった。原料ガス及びオフガスはNO_x自動測定器(下限値:1 ppm)により現地で測定した。また、CO₂ガスはバッグ捕集で採取し、亜鉛還元-吸光光度法(下限値:5 ppm)により分析した。
- SO_x(SO₂+SO₃)濃度は原料ガスで0.57 ppm、オフガスで0.034 ppmであり、CO₂ガスは定量下限値未満であった。各試料は吸収液により持ち帰り(以下、「液体捕集」という。)、イオンクロマトグラフ法(下限値:0.025 ppm)により分析した。
- Hg濃度は原料ガスで0.5 μg/Nm³、オフガスで0.6 μg/Nm³であり、CO₂ガスは0.1 μg/Nm³であった。各試料は液体捕集で採取し、還元気化原子吸光法(下限値:0.1 μg/Nm³)により分析した。
- Benzene濃度は原料ガスで0.48 ppm、オフガスで1.2 ppmであり、CO₂ガスは0.08

ppm であった。各試料は吸着カラム（活性炭）により持ち帰り（以下、「固体捕集（活性炭）」という。）、GC/MS 法（下限値：0.01 ppm）により分析した。

- Toluene 濃度は原料ガスで 0.03 ppm、オフガスで 0.06 ppm であり、CO₂ ガスは定量下限値未満であった。各試料は固体捕集（活性炭）で採取し、GC/MS（下限値：0.01 ppm）により分析した。
- Ethylbenzene と Xylene 濃度はすべての試料で定量下限値未満であった。各試料は固体捕集（活性炭）で採取し、GC/MS 法（下限値：0.01 ppm）により分析した。
- NH₃ 濃度はすべての試料で定量下限値未満であった。各試料は液体捕集で採取し、イオンクロマトグラフ法（下限値：1 ppm）により分析した。
- Acetaldehyde 濃度はすべての試料で定量下限値未満であった。各試料は固体捕集（DNPH カートリッジ）で採取し、HPLC 法（下限値：0.1 ppm）により分析した。
- Amine 濃度はすべての試料で定量下限値未満であった。各試料は液体捕集で採取し、とキャピラリー電気泳動法（下限値：0.1 ppm）により分析した。

表 3-2 分析結果

項 目	濃 度 (dry ベース)			下限値	単 位
	原料ガス	オフガス	CO2ガス		
CO2	27.6	6.5	99.5	0.1	vol%
H2	1000	1000	1 未満	1	Volppm
N2	66.5	84.5	0.2	0.01	vol%
O2	3.2	3.8	0.01	0.01	vol%
CH4	160	140	1 未満	1	Volppm
CO	4800	6800	2	1	Volppm
Ar	8000	10000	220	10	Volppm
COS	0.25	0.14	0.025 未満	0.025	Volppm
H2S	0.13	0.025 未満	0.025 未満	0.025	Volppm
NOx(NO+NO2)	11	14	5 未満	1 (5)	Volppm
SOx(SO2+SO3)	0.57	0.034	0.025 未満	0.025	Volppm
Hg	0.5	0.6	0.1	0.1	μg/Nm3
Benzene	0.48	1.2	0.08	0.01	Volppm
Toluene	0.03	0.06	0.01 未満	0.01	Volppm
Ethylbenzene	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	Volppm
Xylene	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	Volppm
NH3	1 未満	1 未満	1 未満	1	Volppm
Acetaldehyde	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1	Volppm
Amine	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1	ppm

4. 石炭火力発電所

4. 1 施設概要

石炭火力発電所の燃焼排ガスを CO₂ 回収源とし、CO₂ 回収設備（化学吸収法）から回収された CO₂ はガス状のまま近接する化学工場へ送られ、化学副原料として利用されている。

4. 2 試料採取

事業者の協力のもと、石炭火力発電所の工場内において 2024 年 12 月 24 - 25 日に試料採取を実施した。試料は④ 原料ガス、⑤ オフガス（吸収塔上部）及び⑥ CO₂ ガスの 3 か所で採取した。現地状況を図 4-1 に示す。採取した試料は分析機関に送付し、分析に供した。



図 4-1 現地状況（左から④ 原料ガス、⑤ オフガス、⑥ CO₂ ガス）

4. 3 分析項目及び分析方法

分析項目については事前に事業者と協議し、前項の製鉄プラントと同様の 19 項目とした。分析についても事業者指定の同社が担当した。分析方法は前項の表 3-1 と同様である。なお、原料ガス及びオフガスについては、ばいじん測定の実績が無かったため Hg のみ粒子状分析を実施した。Hg の分析方法のみ表 4-1 に示す。

表 4-1 分析方法 (Hg)

項目	採取方法	分析方法	
Hg ^{**}	ろ紙捕集	加熱気化原子吸光法	環境省告示第94号
	液体捕集	還元気化原子吸光法	環境省告示第94号

※；Hgは粒子状とガス状の含量値の全Hgとしての値

4. 4 結果

分析結果を表 4-2 に示す。ガス成分の濃度は以下の通り。

- CO₂ 濃度は原料ガスで 13.5%、オフガスで 6.1%であり、CO₂ ガスでは 99.9%であった。差数法による CO₂ 濃度も 99.9%であった。
- H₂ 濃度はすべての試料で 1 ppm 未満であった。
- N₂ 濃度は原料ガスで 79.1%、オフガスで 85.0%であり、CO₂ ガスでは 0.05%であった。
- O₂ 濃度は原料ガス及びオフガスとも 6.6%であり、CO₂ ガスでは 0.01%未満であった。
- CH₄ 濃度はすべての試料で 1 ppm 未満であった。
- CO 濃度は原料ガスで 4 ppm、オフガスで 11 ppm であり、CO₂ ガスでは 1 ppm 未満であった。
- Ar 濃度は原料ガスで 9,000 ppm、オフガスで 10,000 ppm であり、CO₂ ガスでは 170 ppm であった。
- COS 濃度はすべての試料で 0.025 ppm 未満であった。
- H₂S 濃度はすべての試料で 0.025 ppm 未満であった。
- NO_x (NO+NO₂) 濃度は原料ガスで 11 ppm、オフガスで 13 ppm であり、CO₂ ガスでは 5 ppm 未満であった。
- SO_x (SO₂+SO₃) 濃度は、原料ガスで 11 ppm、オフガスで 0.025 ppm 未満であり、CO₂ ガスも 0.025 ppm 未満であった。
- Hg 濃度は原料ガスで 0.1 μg/Nm³ 未満、オフガスで 0.7 μg/Nm³ であり、CO₂ ガスでは 0.3 μg/Nm³ であった。なお、ろ紙捕集試料は加熱気化原子吸光法（環境省告示第 94 号）で分析した。ろ紙捕集試料の濃度は全 Hg の 200 分の 1 程度であった。
- Benzene 濃度はすべての試料で 0.01 ppm 未満であった。
- Toluene 濃度はすべての試料で 0.01 ppm 未満であった。
- Ethylbenzene と Xylene 濃度も同様に、すべての試料で 0.01 ppm 未満であった。
- NH₃ 濃度はすべての試料で 1 ppm 未満であった。
- Acetaldehyde 濃度はすべての試料で 0.1 ppm 未満であった。
- Amine 濃度は原料ガスで 0.1 ppm 未満、オフガスで 1.5 ppm であり、CO₂ ガスでは 0.1 ppm 未満であった。

表 4-2 分析結果

項 目	濃 度 (dry ベース)			下限値	単 位
	原料ガス	オフガス	CO2ガス		
CO2	13.5	6.1	99.9	0.1	vol%
H2	1 未満	1 未満	1 未満	1	Volppm
N2	79.1	85.0	0.05	0.01	vol%
O2	6.6	6.6	0.01 未満	0.01	vol%
CH4	1 未満	1 未満	1 未満	1	Volppm
CO	4	11	1 未満	1	Volppm
Ar	9000	10000	170	10	Volppm
COS	0.025 未満	0.025 未満	0.025 未満	0.025	Volppm
H2S	0.025 未満	0.025 未満	0.025 未満	0.025	Volppm
NOx(NO+NO2)	11	13	5未満	1(5)	Volppm
SOx(SO2+SO3)	11	0.025 未満	0.025 未満	0.025	Volppm
Hg [※]	0.1 未満	0.7	0.3	0.1	μg/Nm3
Benzene	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	Volppm
Toluene	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	Volppm
Ethylbenzene	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	Volppm
Xylene	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満	0.01	Volppm
NH3	1 未満	1 未満	1 未満	1	Volppm
Acetaldehyde	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1	Volppm
Amine	0.1 未満	1.5	0.1 未満	0.1	ppm

※；Hgは粒子状とガス状の含量値の全Hgとしての値

5. 考察

大崎クールジェン株式会社のCO₂分離回収（物理吸収法）施設から採取した試料は、CO₂濃度が96.5%であった。これは、今回の試料採取ではあえてCO₂濃度が低い箇所から採取したためである³。今回分析した9項目で以って差数法から算出したCO₂濃度は97.3%であった。一方で、CO₂以外の物質は主に水素、窒素及びメタンであり、それぞれ1.1%、0.72%及び0.71%と不純物の大半を占めることが示されたことから、CO₂濃度をより低くすることの合理性を見極めるべく、引き続きCO₂濃度98%以下での検討を行う必要がある（表2-1）。

鉄鋼プラントと石炭火力発電所の両施設は、鉄鉱石とコークス（石炭）を原料とした熱風炉燃焼排ガスと石炭火力発電所の燃焼排ガスを、それぞれCO₂回収源としている。原料ガス中の酸性ガス（SO_x）が吸収液と反応すると、吸収液が劣化して二酸化炭素吸収性能が悪化することから、SO_xは前処理工程において除去され、オフガスでは原料ガスの1/100程度まで濃度が低下している。一方、酸素、窒素、CO、NO_x及びAr濃度はオフガスではあまり変化がなく、CO₂ガスでは大半が取り除かれている。原料由来により検出が想定されたH₂S及びCOSについては、石炭火力発電所ではすべての試料で定量下限値未満であり、一方、製鉄プラントでは、原料ガスとオフガス（COSのみ検出）では検出され、CO₂ガスでは定量下限値未満であった。Hg濃度はオフガスで増加傾向にあるが、極低濃度であるため、分析精度によるバラツキを考慮する必要がある。吸収液の分解生成物と予想されたアンモニア、アセトアルデヒド及びアミン類は石炭火力発電所のオフガスのアミン濃度1.5 ppmを除けば、すべて定量下限未満であった。また、BTEX（ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン）はすべて定量下限未満であった。

比較対象として、Northern Lightsプロジェクトにおける液化CO₂基準を表5-1に示す。ノルウェーのCCSプロジェクト（Northern Lights）の環境影響評価では、受入・貯留可能なCO₂に含まれる不純物の基準が示されている。たとえば、日本国内から海外へ回収したCO₂を輸送するとなった場合、現状、この基準が重要になると考えられる。今回、液化CO₂基準に挙げられているBTEXの分析を2施設で実施した結果、定量下限値未満であり基準値をクリアしていた。一方、N₂及びO₂の基準は50 ppm以下及び10 ppm以下と今回の定量下限値より低い値である。これは、液化CO₂基準が、輸送タンクに液化CO₂を充填した時の空隙部分の濃度基準を示しており、比較状況が異なるため、今後、CO₂ガスを液化する際の工程についても確認する必要がある。NO_xについては、NO_x自動測定器による分析（直接測定）の場合は定量下限値が1 ppmであり、基準値の1.5 ppmを検知可能である。しかし、CO₂ガス試料の直接測定となると高濃度CO₂が測定に干渉するため、今回はバッグ捕集により持ち帰り、亜鉛還元-吸光度法による分析となった。亜鉛還元-吸光度法では定量下限値が5 ppm未満となるため、基準値を満たしているか判断できない結果となった。その他の項目については、十分に基準をクリアしていた。

³ NEDO 助成事業の中で、CO₂分離回収設備の基本性能（回収CO₂純度99%以上）は確認済み。

表 5-1 Northern Lights のプロジェクトにおける液化 CO₂ 基準⁴

Liquid CO ₂ (LCO ₂) Quality Specifications		
Component	Unit	Limit for CO ₂ Cargo within Reference Conditions
Carbon Dioxide (CO ₂)	mol-%	Balance (Minimum 99.81%)
Water (H ₂ O)	ppm-mol	≤ 30
Oxygen (O ₂)	ppm-mol	≤ 10
Sulphur Oxides (SO _x)	ppm-mol	≤ 10
Nitrogen Oxides (NO _x)	ppm-mol	≤ 1.5
Hydrogen Sulfide (H ₂ S)	ppm-mol	≤ 9
Amine	ppm-mol	≤ 10
Ammonia (NH ₃)	ppm-mol	≤ 10
Formaldehyde (CH ₂ O)	ppm-mol	≤ 20
Acetaldehyde (CH ₃ CHO)	ppm-mol	≤ 20
Mercury (Hg)	ppm-mol	≤ 0.0003
Carbon Monoxide (CO)	ppm-mol	≤ 100
Hydrogen (H ₂)	ppm-mol	≤ 50
Methane (CH ₄)	ppm-mol	≤ 100
Nitrogen (N ₂)	ppm-mol	≤ 50
Argon (Ar)	ppm-mol	≤ 100
Methanol (CH ₃ OH)	ppm-mol	≤ 30
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	ppm-mol	≤ 1
Total Volatile Organic Compounds (VOC)	ppm-mol	≤ 10
Mono-Ethylene Glycol (MEG)	ppm-mol	≤ 0.005
Tri-Ethylene Glycol (TEG)	ppm-mol	Not allowed
BTEX	ppm-mol	≤ 0.5
Ethylene (C ₂ H ₄)	ppm-mol	≤ 0.5
Hydrogen Cyanide (HCN)	ppm-mol	≤ 100
Aliphatic Hydrocarbons (C ₃ +)	ppm-mol	≤ 1,100
Ethane (C ₂ H ₆)	ppm-mol	≤ 75
Solids, particles, dust	Micro-meter (μm)	≤ 1

⁴ Northern Lights ホームページ (<https://norlights.com/wp-content/uploads/2024/06/NorthernLights-GS-co2-spec2024.pdf>) から抜粋、一部編集。

6. まとめ

分析方法について、CO₂が高濃度である分離回収CO₂ガス試料の場合、不純物をCO₂と分離して測定する必要があるため、ガスクロマトグラフ法が用いられたが、検出器が分析機関により異なる項目がみられた。また、定量下限値も分析機関により差があるため、測定方法の適正化については、引き続き検討する必要がある。不純物の種類及び濃度について、化学吸収法の吸収液の分解生成物と予想されるアンモニア、アセトアルデヒド及びアミン類、鉄鉱石や石炭由来であるH₂SやCOS、ならびに海外輸送も想定した場合のBTEX（ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン）などの各項目については、今回の2施設ともCO₂ガスでは極低濃度であったが、今後も注視しておくべき項目である。

担当者等連絡先

部署名：環境省 水・大気環境局海洋環境課

T E L：03-5521-9023（直通）

担当者名：課長補佐 堀野上 貴章（内線：25523）

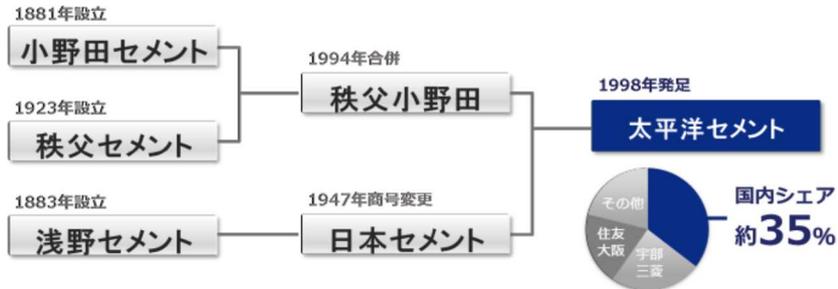
添 付 資 料

1. 太平洋セメント株式会社

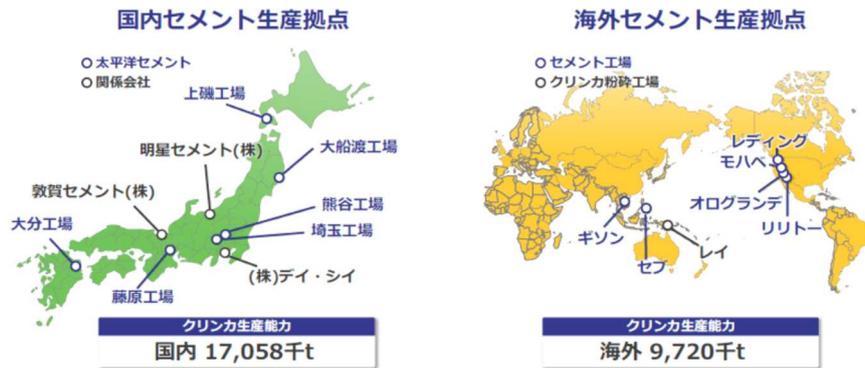
1. 1 施設概要

施設概要を示す。

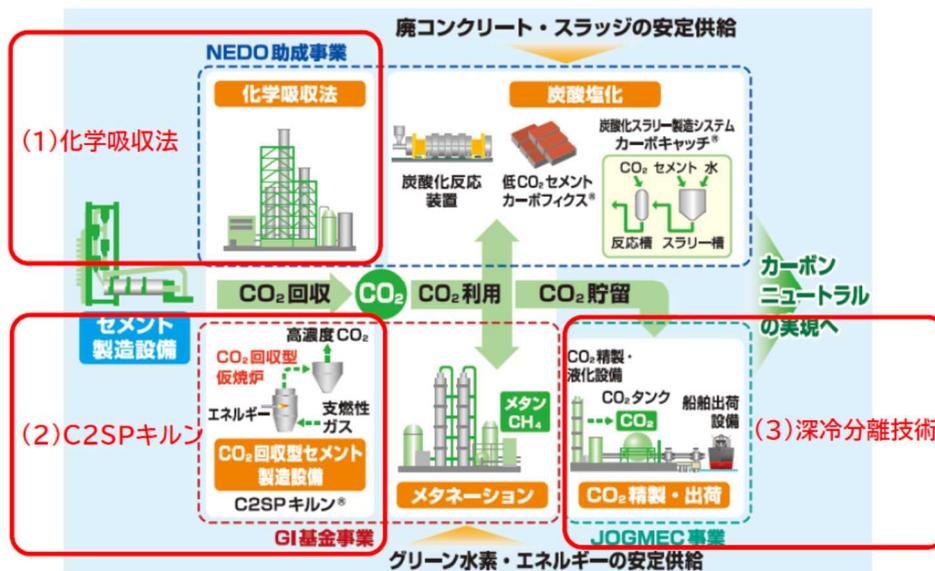
- 会社沿革



- 生産拠点



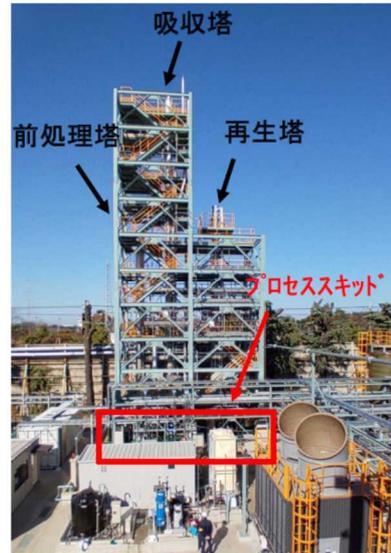
- CO₂回収・精製技術開発への取り組み



● CO₂分離回収施設

<NEDO助成事業(2020~2021年度)>
「炭素循環型セメント製造プロセスの技術開発」

- ✓熊谷工場に10t-CO₂/日の実証設備を設置
- ✓運転実績
 - ・セメントキルン排ガスから10 t/日のCO₂を回収
 - ・CO₂は高濃度(99.5%以上)で安定的に回収
 - ・Northern Lights規格をほぼ満足するCO₂を回収
(データは次頁)
- ✓NEDO事業は2021年度で終了し、2022年度~
自社自主試験を継続(不定期に運転を実施)



1. 2 分析結果の一例

事業者より提供された分析結果の一例を表 1-1 に示す。

表 1-1 セメント工場排ガスから回収した化学吸収法における CO₂ 組成

CO₂回収 ー:未測定

組成 (抜粋)		Northern lights 液化CO ₂ 品質規格	化学吸収法(アミン法) 回収CO ₂ の一例	セメント工場 排ガスの一例	
CO ₂	%	≧ 99.8	≧ 99.8	16.5	%
H ₂ O	ppm	≦ 30	—	12.1	%
O ₂	ppm	≦ 10	< 10	11.5	%
N ₂	ppm	≦ 50	—	Balance	%
SO _x	ppm	≦ 10	< 1 (SO ₂)	< 100 (SO ₂)	ppm
NO _x	ppm	≦ 1.5	< 4 (検出下限未満)	< 260	ppm
H ₂ S	ppm	≦ 9	< 0.1	—	ppm
Amine	ppm	≦ 10	—	—	ppm
NH ₃	ppm	≦ 10	< 0.5	—	ppm
CO	ppm	≦ 100	< 10	< 900	ppm
Ar	ppm	≦ 100	—	Balance	ppm
Hg	ppm	≦ 0.0003	—	—	ppm

1. 3 化学吸収法の評価と新規 CO₂ 回収技術の開発

✓(従来技術)化学吸収法による排ガスCO₂回収技術

- ・ 燃焼ガスのCO₂回収技術として広く技術開発、適用が推進。
- ・ 既存プロセスへの影響を抑えて導入可能。高濃度CO₂(99% \lt)を回収可能。
- ・ 大量の排ガスから回収では設備の大型化が課題(10t/日設備で600m²×25mH)。敷地に余裕がない日本国内のセメント工場に実機規模設備を設置するのは困難。
- ・ 小規模(数百t/日規模)な設備で高濃度CO₂を回収し、CO₂外販などを想定。

⇒ コンパクトな設備でCO₂を直接回収できる新技術の開発が必須
CO₂回収型仮焼炉(C2SPキルン®)の技術開発

1. 4 NSP キルンと C2SP キルン®の比較

✓ C2SPキルン®の特徴

①原料由来CO₂をコンパクトな設備で直接回収 ②従来型NSPキルンの利点を継承

- ・ 仮焼炉で発生するCO₂を直接回収する
当社オリジナル技術
- ・ 酸素燃焼技術を適用することでCO₂が高濃度化
支燃性ガスとして、O₂とCO₂の混合ガスを使用

- ・ NSPキルンの高い熱交換性能を維持
- ・ 廃棄物活用は従来型と同等以上

