2.A.4.d その他プロセスでの炭酸塩の使用（その他）
（Other Process Uses of Carbonates－Other）（CO_2）

１．排出・吸収源の概要

１.１ 排出・吸収源の対象及び温室効果ガス排出メカニズム

石灰石・ドロマイトといった炭酸塩鉱物は様々な産業分野で幅広く利用されており、CO_2 の排出を伴う利用用途も数多く存在する。温室効果ガスインベントリでは、主な排出用途のうち、生石灰製造、セメント製造、ガラス製品製造及び鉄鋼製造について個別に排出カテゴリーが設定されている。ここでは、特にカテゴリーが設定されていない排出源として、排煙脱硫及び化学製品製造に伴う CO_2 排出を扱う。

・ 排煙脱硫

発電所等、排煙を排出する大規模施設において、石灰石を用いた石灰石膏法による排煙脱硫が実施されている。石灰石を水に懸濁させて石灰石スラリーを作り、排ガス中の二酸化硫黄（SO_2）と反応させて吸収し（下式（1））、更に排ガス中の O_2 と反応させることで石膏とするものであり（下式（2））、SO_2 との反応過程で CO_2 が排出される。

$$\mathrm{CaCO_3 + SO_2 + \frac{1}{2}H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O + CO_2} \qquad (1)$$

$$\mathrm{CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O + \frac{1}{2}O_2 + \frac{3}{2}H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O} \qquad (2)$$

・ 化学製品

製造時に石灰石が利用され、CO_2 排出を伴う化学製品として、カルシウムカーバイド（CaC_2）がある。CaC_2 は主にアセチレンの発生源として利用され、生石灰と炭素材を電気炉で 1,880℃以上に加熱反応されることで製造される（下式（2））。石灰石から原料となる生石灰が製造される過程で CO_2 が排出される（下式（1））。

$$\mathrm{CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2} \qquad (1)$$

$$\mathrm{CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO} \qquad (2)$$

このほか、ソーダ工業におけるソーダ灰の製造工程や、石油化学工業におけるプロピレンオキサイドの製造過程にも、石灰石の焼成による生石灰製造工程が含まれ、CO_2 の排出を伴う。ただし、ソーダ灰製造の生石灰製造工程で発生した CO_2 については、最終的にはそのほとんどが最終製品中（Na_2CO_3）に取り込まれるため、本カテゴリーでは算定対象外となっている。

1.2 排出・吸収トレンド及びその要因

排煙脱硫に伴う CO_2 排出量は、1990 年度以降、おおむね横ばいで推移していたが、2013 年度以降は減少傾向にある。発電所で除去される SO_2 は主に石炭・C 重油中の硫黄分に由来するが、1990 年度以降、石炭火力発電量の増加に伴い、石炭からの脱硫量も増加傾向であったが、一方で石油火力発電量の減少に伴い、C 重油からの脱硫量が減少傾向であったため、両者を合わせた総脱硫量及びそれに伴う CO_2 排出量も横ばいで推移していたが、近年は火力発電量自体の減少により減少傾向になりつつあるものとみられる。

化学製品製造に伴う CO_2 排出量は、1990 年代前半に大きく減少し、後半には横ばいとなったが、2000 年代前半には再び大きく減少し、後半から 2010 年代初めにかけてはおおむね横ばいで推移した。2013 年度頃から再び増加傾向となったが、近年は減少傾向となっている。石灰石消費に伴う排出係数は時系列の変動がないため、このトレンドは各化学製品の生産量減少あるいは原料の消費原単位改善によるものとみられる。

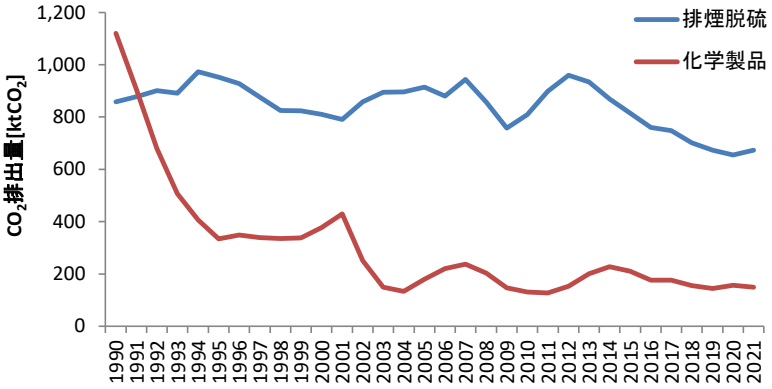

図 1　排煙脱硫・化学製品製造からの CO_2 排出量の推移

2. 排出・吸収量算定方法

2.1 排出・吸収量算定式

排煙脱硫・化学製品用の石灰石・ドロマイト消費量（乾重量）に、我が国独自の石灰石・ドロマイト消費量当たりの排出係数を乗じて CO_2 排出量を算定している。

$$E = E_{\mathrm{L}} + E_{\mathrm{D}}$$

E　：排煙脱硫・化学製品製造における石灰石・ドロマイト消費に伴う CO_2 排出量［t-CO_2］
E_{L}　：排煙脱硫・化学製品製造における石灰石消費に伴う CO_2 排出量［t-CO_2］
E_{D}　：排煙脱硫・化学製品製造におけるドロマイト消費に伴う CO_2 排出量［t-CO_2］

$$E_{\mathrm{L}} = AD_{\mathrm{L}} * EF_{\mathrm{L}}$$

E_{L}　：排煙脱硫・化学製品製造における石灰石消費に伴う CO_2 排出量［t-CO_2］
AD_{L}　：排煙脱硫・化学製品製造における石灰石消費量（乾重量）［t-原料］
EF_{L}　：石灰石消費量（乾重量）当たりの排出係数［t-CO_2/t-原料］

$$E_{\mathrm{D}} = AD_{\mathrm{D}} * EF_{\mathrm{D}}$$

E_{D}　：排煙脱硫・化学製品製造におけるドロマイト消費に伴う CO_2 排出量［t-CO_2］
AD_{D}　：排煙脱硫・化学製品製造におけるドロマイト消費量（乾重量）［t-原料］
EF_{D}　：ドロマイト消費量（乾重量）当たりの排出係数［t-CO_2/t-原料］

2.2 排出係数

石灰石の排出係数は、化学反応式における CO_2 と炭酸カルシウム（$CaCO_3$）の分子量比に石灰石から取り出せる酸化カルシウム（CaO）の割合（55.4% :「石灰石の話（石灰石鉱業協会）」に示された割合「54.8～56.0%」の中間値）から求めた $CaCO_3$ の含有率を乗じた値と、CO_2 と $MgCO_3$ の分子量比に石灰石から取り出せる酸化マグネシウム（MgO）の割合（0.5% :「石灰石の話」に示された割合「0.0～1.0%」の中間値）から求めた $MgCO_3$ の含有率を乗じた値を加えて算出する。

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$
$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$

・石灰石から取り出せる CaO の割合：55.4%
（54.8～56.0%の中間値 :「石灰石の話」）
・石灰石から取り出せる MgO の割合：0.5%
（0.0～1.0%の中間値 :「石灰石の話」）
・$CaCO_3$（石灰石の主成分）の分子量：100.0869[a]
・$MgCO_3$ の分子量：84.3139[a]
・CaO の分子量：56.0774[a]
・MgO の分子量：40.3044[a]
・CO_2 の分子量：44.0095[a]
・$CaCO_3$ の含有率 ＝ 石灰石から取り出せる CaO の割合 × $CaCO_3$ の分子量/CaO の分子量
＝ 55.4% × 100.0869/56.0774 ＝ 98.88%
・$MgCO_3$ の含有率 ＝ 石灰石から取り出せる MgO の割合 × $MgCO_3$ の分子量/MgO の分子量
＝ 0.5% × 84.3139/40.3044 ＝ 1.05%

○ 排出係数 ＝ CO_2 の分子量/$CaCO_3$ の分子量 × $CaCO_3$ の含有率
＋ CO_2 の分子量/$MgCO_3$ の分子量 × $MgCO_3$ の含有率
＝ 44.0095/100.0869 × 0.9888 + 44.0095/84.3139 × 0.0105
＝ 0.4348 ＋ 0.0055 ＝ 0.4402［t-CO_2/t］
＝ 440［kg-CO_2/t］

（出典）
a. IUPAC “Atomic Weights of the Elements 1999”
（http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/AtWt/AtWt99.html）

ドロマイトの排出係数は、化学反応式における CO_2 と $CaCO_3$ の分子量比にドロマイトから取り出せる CaO の割合（34.5% : 33.1～35.85%の中間値。「石灰石の話」）から求めた $CaCO_3$ の含有率を乗じた値と、CO_2 と $MgCO_3$ の分子量比にドロマイトから取り出せる MgO の割合（18.3% : 17.2～19.5%の中間値。「石灰石の話」）から求めた $MgCO_3$ の含有率を乗じた値を加え排出係数を算定する。

$CaCO_3$ → CaO ＋ CO_2
$MgCO_3$ → MgO ＋ CO_2

・ドロマイトから取り出せる CaO の割合：34.5%
（33.1～35.85%の中間値：「石灰石の話」）
・ドロマイトから取り出せる MgO の割合：18.3%
（17.2～19.5%の中間値：「石灰石の話」）
・$CaCO_3$（ドロマイトの主成分）の分子量：100.0869
・$MgCO_3$（ドロマイトの主成分）の分子量：84.3142
・CaO の分子量：56.0774
・MgO の分子量：40.3044
・CO_2 の分子量：44.0098

・$CaCO_3$ の含有率 ＝ ドロマイトから取り出せる CaO の割合 × $CaCO_3$ の分子量 / CaO の分子量
＝ 34.5% × 100.0869/56.0774
＝ 61.53%
・$MgCO_3$ の含有率 ＝ ドロマイトから取り出せる MgO の割合 × $MgCO_3$ の分子量 / MgO の分子量
＝ 18.3% × 84.3142/40.3044
＝ 38.39%

○ 排出係数 ＝ CO_2 の分子量/$CaCO_3$ の分子量 × $CaCO_3$ の含有率
＋ CO_2 の分子量/$MgCO_3$ の分子量 × $MgCO_3$ の含有率
＝ 44.0098/100.0869 × 0.6153 ＋ 44.0098/84.3142 × 0.3839
＝ 0.2706 ＋ 0.2004
＝ 0.4709［t-CO_2/t］
＝ 471［kg-CO_2/t］

2.3 活動量

「不均一価格物量表（経済産業研究所）」[1]における排煙脱硫・化学製品関連部門に計上された石灰石及びドロマイト消費量のうち、CO_2 の排出用途に分類される全部門の石灰石及びドロマイト消費量を本サブカテゴリー下に計上する。なお、活動量はセメント用の石灰石の含水率を使用して乾重量ベースに換算されたものを使用する。

本用途分類に対応する「不均一価格物量表」の部門については以下のとおりである。

表 1　不均一価格物量表の該当部門

	不均一価格物量表の該当部門	
	石灰石	ドロマイト
排煙脱硫	063 鉱業 非金属鉱物	-
化学製品	2011-01 化学製品化学肥料	2011-01 化学製品 化学肥料
	2029-09 化学製品他無機化学工業製品	2029-09 化学製品他無機化学製品
		2081-011 化学製品油脂加工製品
	2049-09 化学製品他有機化学工業製品	2049-09 化学製品他有機化学工業製品
	－	2071-01 化学製品医薬品
	－	2089-09 化学製品触媒他化学最終製品

※部門名に付されている番号は、不均一価格物量表内の分類番号。

[1] 戒能一成「産業連関表･鉱工業統計を用いた石灰石起源 CO_2 排出などの評価･検証」2010 年 4 月 <http://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/10j026.pdf>　（2015 年 5 月 20 日参照）

表 2　活動量（排煙脱硫用途の石灰石消費量）の推移

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
石灰石消費量(湿重量)	千t	2,018	2,062	2,115	2,094	2,283	2,237	2,179	2,057	1,938	1,933
水分含有率	%	3.4%	3.3%	3.2%	3.3%	3.2%	3.3%	3.2%	3.2%	3.2%	3.1%
石灰石消費量(乾重量)	千t	1,950	1,994	2,047	2,025	2,210	2,163	2,109	1,991	1,876	1,873

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
石灰石消費量(湿重量)	千t	1,901	1,853	2,012	2,097	2,102	2,141	2,064	2,216	2,012	1,781
水分含有率	%	3.1%	3.0%	3.1%	3.1%	3.1%	3.0%	3.1%	3.2%	3.2%	3.3%
石灰石消費量(乾重量)	千t	1,842	1,797	1,950	2,032	2,037	2,077	2,000	2,145	1,948	1,722

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
石灰石消費量(湿重量)	千t	1,903	2,111	2,254	2,192	2,040	1,917	1,783	1,756	1,649	1,579
水分含有率	%	3.3%	3.3%	3.2%	3.1%	3.2%	3.3%	3.2%	3.2%	3.3%	3.1%
石灰石消費量(乾重量)	千t	1,840	2,041	2,182	2,124	1,975	1,853	1,726	1,700	1,594	1,530

		2020	2021
石灰石消費量(湿重量)	千t	1,540	1,583
水分含有率	%	3.3%	3.4%
石灰石消費量(乾重量)	千t	1,489	1,529

（出典）石灰石消費量（湿重量）：不均一価格物量表（経済産業研究所）
水分含有率：石灰石含水率（セメント協会）
石灰石消費量（乾重量）：石灰石消費量（湿重量）・水分含有率を基に算出。

表 3　活動量（化学製品製造用途の石灰石・ドロマイト消費量）の推移

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
石灰石消費量(湿重量)	千t	2,544	2,046	1,531	1,131	902	737	774	750	742	743
水分含有率	%	3.4%	3.3%	3.2%	3.3%	3.2%	3.3%	3.2%	3.2%	3.2%	3.1%
石灰石消費量(乾重量)	千t	2,458	1,978	1,482	1,093	873	713	750	726	718	720

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
石灰石消費量(湿重量)	千t	838	965	547	305	270	378	473	513	436	307
水分含有率	%	3.1%	3.0%	3.1%	3.1%	3.1%	3.0%	3.1%	3.2%	3.2%	3.3%
石灰石消費量(乾重量)	千t	812	936	530	296	261	367	458	497	423	297

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
石灰石消費量(湿重量)	千t	269	264	321	434	498	467	388	388	342	317
水分含有率	%	3.3%	3.3%	3.2%	3.1%	3.2%	3.3%	3.2%	3.2%	3.3%	3.1%
石灰石消費量(乾重量)	千t	260	255	310	421	482	451	375	376	331	307

		2020	2021
石灰石消費量(湿重量)	千t	344	324
水分含有率	%	3.3%	3.4%
石灰石消費量(乾重量)	千t	332	313

（出典）石灰石消費量（湿重量）：不均一価格物量表（経済産業研究所）
水分含有率：石灰石含水率（セメント協会）
石灰石消費量（乾重量）：石灰石消費量（湿重量）・水分含有率を基に算出。

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
ドロマイト消費量(湿重量)	千t	85	77	60	55	47	44	42	42	41	44
水分含有率	%	3.4%	3.3%	3.2%	3.3%	3.2%	3.3%	3.2%	3.2%	3.2%	3.1%
ドロマイト消費量(乾重量)	千t	82	74	58	53	46	43	40	40	40	43

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ドロマイト消費量(湿重量)	千t	43	37	38	40	40	38	40	40	35	35
水分含有率	%	3.1%	3.0%	3.1%	3.1%	3.1%	3.0%	3.1%	3.2%	3.2%	3.3%
ドロマイト消費量(乾重量)	千t	42	36	37	38	38	37	39	39	34	34

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ドロマイト消費量(湿重量)	千t	36	32	35	34	32	26	24	23	19	20
水分含有率	%	3.3%	3.3%	3.2%	3.1%	3.2%	3.3%	3.2%	3.2%	3.3%	3.1%
ドロマイト消費量(乾重量)	千t	34	31	34	33	31	25	23	22	18	19

		2020	2021
ドロマイト消費量(湿重量)	千t	21	23
水分含有率	%	3.3%	3.4%
ドロマイト消費量(乾重量)	千t	20	22

（出典）ドロマイト消費量（湿重量）：不均一価格物量表（経済産業研究所）
水分含有率：石灰石含水率（セメント協会）
ドロマイト消費量（乾重量）：ドロマイト消費量（湿重量）・水分含有率を基に算出。

3．算定方法の時系列変更・改善経緯

表 4　初期割当量報告書（2006 年提出）以降の算定方法等の改訂経緯概要

	2010 年提出	2011 年提出	2015 年提出
排出・吸収量算定式	－	カルシウムカーバイド製造に伴う石灰石起源の CO_2 排出については「2.A.3 石灰石及びドロマイトの使用」で計上。	計上区分を「2.A.3 石灰石及びドロマイトの使用」から「2.A.4. その他プロセスでの炭酸塩の使用」の「2.A.4.d その他」へと変更。
排出係数	カルシウムカーバイド製造に伴う石灰石起源の CO_2 排出量について、カーバイド工業会提供の我が国固有の値に変更。	－	－
活動量	－	－	－

（1）初期割当量報告書における算定方法

本カテゴリーに含まれる排出のうち、カルシウムカーバイド製造に伴う石灰石起源の CO_2 排出量については、初期割当量報告時点では「2.B.4 カルシウムカーバイド製造」において算定されていた。その他の排出量については、初期割当量報告時点では未計上であった。

なお、「2.B.4 カルシウムカーバイド製造」の算定対象となっていた CO_2 排出には「石灰石起源」、「還元剤起源」及び「使用時」の 3 種があり、そのうち、現行インベントリの「2.A.4.d その他プロセスでの炭酸塩の使用（その他）」に含まれる排出は「石灰石起源」の CO_2 排出である。

1）排出・吸収量算定式

カルシウムカーバイド生産量に、1996 年改訂 IPCC ガイドラインに示されたデフォルト排出係数を乗じて石灰石起源 CO_2 排出量を算定していた。

$$E = AD * EF$$

E：カルシウムカーバイド製造に伴う石灰石起源の CO_2 排出量［t-CO_2］
AD：カルシウムカーバイド生産量［t-生産量］
EF：カルシウムカーバイド生産量当たりのデフォルト排出係数［t-CO_2/t-生産量］

2）排出係数

1996 年改訂 IPCC ガイドラインに示されたカルシウムカーバイド製造における石灰石起源の CO_2 排出係数のデフォルト値：760 kg-CO_2/t-生産量[2]を使用していた。

3）活動量

カーバイド工業会より提供されたカルシウムカーバイド生産量（秘匿扱い）を使用していた。

（2）2010 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

初期割当量報告書における算定式と同様（現行の算定式と同様。）。

2）排出係数

初期割当量報告以降使用されていた 1996 年改訂 IPCC ガイドラインに示された石灰石起源の CO_2 排出係数のデフォルト値については、他国における実測値を基に設定された参考値であり、我が国の実態を正しく表していない可能性があった。そこで、カーバイド工業会より、国内でカルシウムカーバイドを製造している事業者全 2 社における石灰石起源 CO_2 排出係数の生産量による加重平均値が提供されたため、新たに排出係数として設定することとなった。

ただし、1990 年まで遡っての過去の排出係数データは存在せず、また生産規模や製造技術改良等の要因によって経年変動が大きく、過去に遡及しての適用は困難と考えられることから、2007 年度以前の算定には従来のデフォルトの排出係数を使用し、2009 年度以降にのみ提供を受けた独自の排出係数を適用することとし、以降、新たな排出係数が提供され次第、随時更新することとなった。なお、本排出係数は秘匿扱いとされた。

3）活動量

初期割当量報告書における活動量と同様（現行の活動量と同様。）。

（3）2011 年提出インベントリにおける算定方法

セメント製造や鉄鋼業における石灰製造等、石灰石関連産業における各排出源間の二重計上及び計上漏れを解消するため、該当排出源における活動量の全面改訂が行われ、「2.A.1 セメント製造」以外[3]の石灰石起源 CO_2 排出量については、「不均一価格物量表」の部門別石灰石・ドロマイ

---

2 IPCC, “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, 11-13 Sep. 1996, vol.3, Chapter 2, p.2.22, table 2-9

3 「2.A.1 セメント製造」の排出量算定においては、IPCC ガイドライン上で石灰石ではなく中間生産物であるクリンカを活動量とすることがより精度の高い算定方法とされており、引き続きセメント協会が提供するクリンカ生産量を活動量とすることになった。

ト消費量を活動量とすることになった。

「排煙脱硫」及びカルシウムカーバイド生産以外の「化学製品製造」における石灰石起源 CO_2 についてはこれまで未計上となっていたが、活動量の改訂に伴い、「2.A.3 石灰石及びドロマイトの使用」において新たに排出量を計上することとなった。また、それまで「2.B.4 カルシウムカーバイド製造」において計上していたカルシウムカーバイド製造に伴う石灰石起源の CO_2 排出については、「化学製品製造」における石灰石起源 CO_2 に内包され、分割計上ができないため、「2.A.3 石灰石及びドロマイトの使用」で一括して計上することとなった。

1）排出・吸収量算定式

初期割当量報告書における算定式と同様（現行の算定式と同様。）。

2）排出係数

2010 年提出インベントリにおける排出係数と同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

初期割当量報告書における活動量と同様（現行の活動量と同様。）。

（4）2015 年提出インベントリにおける算定方法

算定方法の変更はないが、新たに 2006 年 IPCC ガイドラインのカテゴリー区分が適用されたことにより、計上区分が「2.A.3 石灰石及びドロマイトの使用」から「2.A.4. その他プロセスでの炭酸塩の使用」の「2.A.4.d. その他」へと変更となった。

1）排出・吸収量算定式

初期割当量報告書における算定式と同様（現行の算定式と同様。）。

2）排出係数

2010 年提出インベントリにおける排出係数と同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

初期割当量報告書における活動量と同様（現行の活動量と同様。）。