2.E.2 液晶製造（Liquid Crystals）（HFCs, PFCs, SF_6, NF_3）

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

液晶製造プロセスでは、フッ素化合物が①シリコン含有材料のプラズマエッチング、②シリコンが析出する化学蒸着室の洗浄の 2 つの工程で使用されており、それに伴い HFC-23、PFCs（CF_4（PFC-14）、C_2F_6（PFC-116）及び c-C_4F_8（PFC-c318））、SF_6 及び NF_3 が排出される。これらの排出の大部分は、エッチング工程中又は洗浄工程中でのフッ素化合物の先駆物質の使用効率（例えば消費）が低いことから発生する。この他、生産工程で使用されるフッ素化合物の一部が CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 に変化する。

１.２ 排出・吸収トレンド及びその要因

「2.E.2 液晶製造」からの HFC-23 排出量は、1990～2004 年にかけておおむね増加傾向であったが、2005～2011 年はおおむね横ばいとなり、2012 年以降は減少傾向となっていたが、2022 年は排出量が増加し、2023 年～2024 年は排出量が減少した。排出量の変化は、主に HFC-23 購入量の推移を反映している。

「2.E.2 液晶製造」からの PFCs 排出量は、1990～2000 年にかけて増加傾向であり、2001～2009 年にかけては減少傾向となったが、2010～2014 年は再び増加傾向、2015 年以降は減少傾向となっており、特に 2021 年以降は排出量が大きく減少している。1990～2000 年の排出量の増加は、主に CF_4 購入量の増加が要因である。2001～2009 年の排出量の減少は、業界団体での自主行動計画の削減目標の下で除害装置の設置が進められたことが要因である。なお、液晶製造に使用しているガス購入量全体に占める割合（重量ベース）を見ると、PFCs 購入割合は減少傾向であったが、近年は横ばいとなっている。

「2.E.2 液晶製造」からの SF_6 排出量は、1995～1999 年にかけて大きく増加したが、2004～2009 年にかけて逆に大きく減少し、2010 年に増加した後は減少傾向で推移している。1995～1999 年の排出量の増加は、SF_6 購入量の増加が要因である。2004～2009 年の排出量の減少は、PFCs と同様に、業界団体の自主行動計画における削減目標の下で除害装置設置率が上昇傾向であることが要因である（なお、1996～2009 年の SF_6 購入量は増加傾向であるが、その効果を上回っている。）。2010 年以降の排出量の変化は、SF_6 購入量の推移を反映している。

「2.E.2 液晶製造」からの NF_3 排出量は、1990～2004 年にかけて増加傾向であったが、2005 年及び 2008 年に大きく減少し、2009 年以降はおおむね横ばいとなっているが、2023 年は排出量が減少した。2024 年も減少傾向で推移している。1990～2004 年の排出量の増加は、主に NF_3 購入量の増加が要因である。2005 年の排出量の減少は、PFCs と同様に、業界団体の自主行動計画における削減目標の下で除害装置設置率が上昇したことが要因である。2008 年以降は反応消費率が高い

NF_3 (Remote) [1]と呼ばれる方式における消費割合が増加したことで排出量は減少している。なお、ガス購入量全体に占める割合（重量ベース）を見ると、NF_3 購入割合は 2009 年頃まで増加傾向であったが、近年は横ばいとなっている。

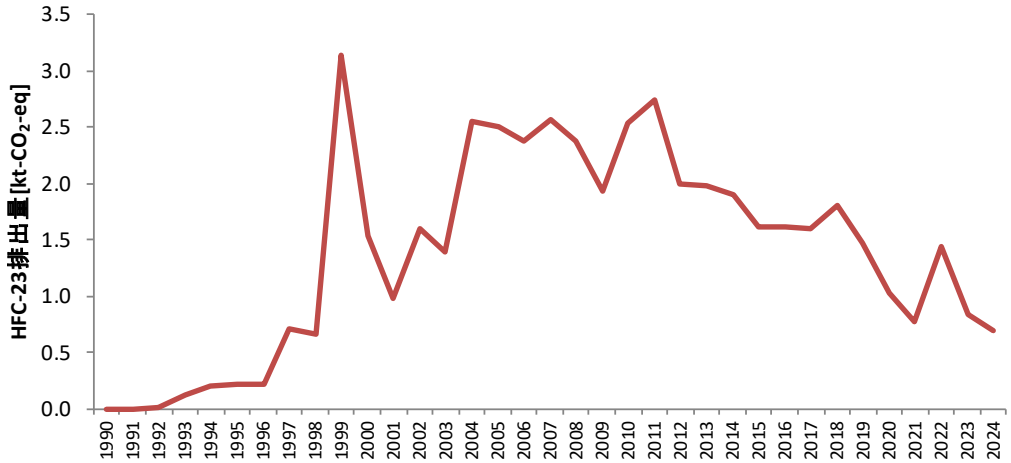


図 1　「2.E.2 液晶製造」からの HFC-23 排出量の推移

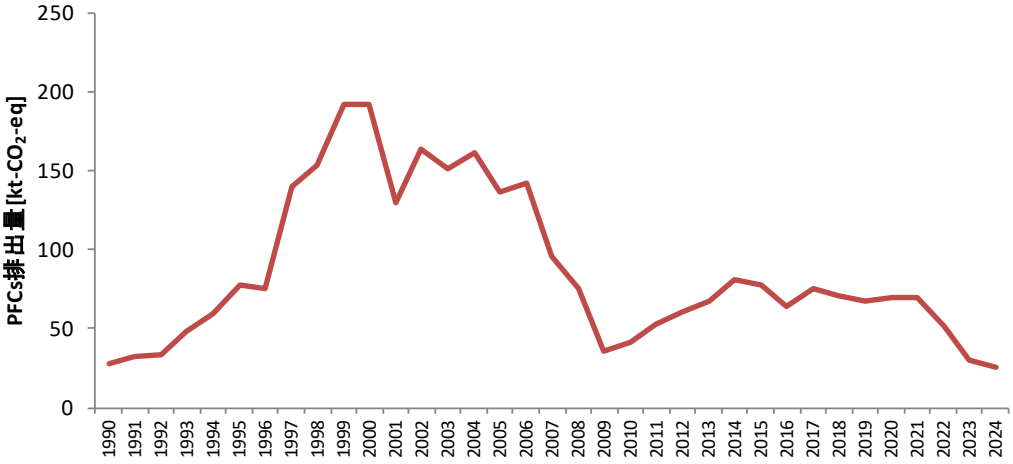


図 2　「2.E.2 液晶製造」からの PFCs 排出量の推移

[1] NF_3 は、半導体等の製造に用いられる CVD（化学蒸着）装置内に堆積した不純物を除去するクリーニングガスとして用いられる。クリーニング方法の一つとして、NF_3 を含有するクリーニングガスの存在下でプラズマ放電させることにより、活性な F ラジカルを発生させ、堆積物を揮発性の高い物質へと変換し、反応チャンバー外へと排出させるプラズマクリーニング法がある。プラズマクリーニングにおけるプラズマ発生方法は 2 種類に大別される。一方は平行平板型のプラズマ発生装置など、反応チャンバー内でプラズマ放電を発生させる方式のものであり、もう一方は反応チャンバー外でプラズマ放電させたガスを反応チャンバー内に導入させる方式のもので、リモートプラズマクリーニング法と呼ばれている。後者の NF_3 ガスを「NF_3 Remote」と呼ぶ。両者は、装置の仕様等に応じて適宜最適な方式が選択されており、特にリモートプラズマクリーニング法は、チャンバー内でプラズマ放電を発生させることが不可能な場合や、あるいは平行平板型のプラズマ発生装置において、クリーニングガス成分によるプラズマ放電時のイオン衝撃により、電極基板へのダメージが懸念される場合に用いられている。

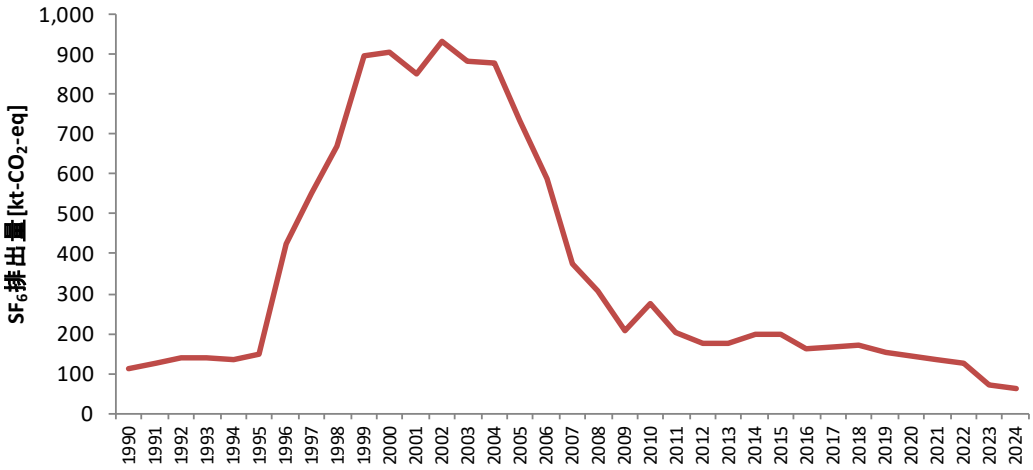


図 3　「2.E.2 液晶製造」からの SF_6 排出量の推移

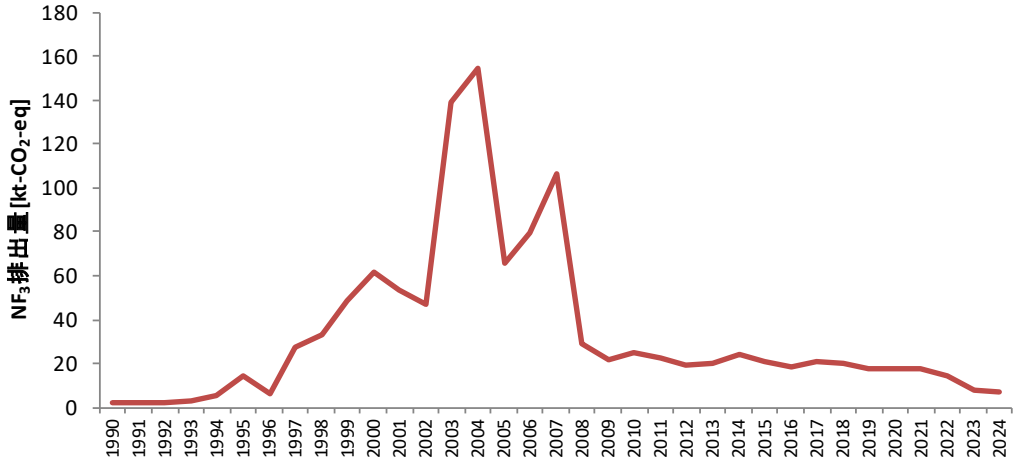


図 4　「2.E.2 液晶製造」からの NF_3 排出量の推移

2．排出・吸収量算定方法

2.1 排出・吸収量算定式

（1）1990～1994 年

1990～1994 年の HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量については、排出量の算定に必要なデータが不足しているため、1995 年の排出量を、それぞれ HFCs、PFCs 及び SF_6 国内出荷量、NF_3 国内生産量で外挿して算定している [2]。

[2] NF_3 については 1990～1994 年の国内出荷量のデータが得られていないため、国内生産量を用いている。

（2）1995 年以降

2006 年 IPCC ガイドラインの Tier 2a 法にのっとって排出量を算定している。

HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量は、液晶製造に使用している各ガスの購入量、プロセス供給率、反応消費率、除害装置設置率及び除害効率を用いて算定している。

副生 CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 排出量は、液晶製造に使用している各ガスの購入量、副生率、プロセス供給率、除害装置設置率及び除害効率を用いて算定している。

なお、PFCs の排出量については、ガス種別ではなく合計値を報告している。

排出量［t］＝HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量［t］

＋ 副生 CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 排出量［t］

HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量［t］

＝ ガス購入量［t］×プロセス供給率［%］×（1－反応消費率［%］）

×（1－除害装置設置率［%］×除害効率［%］）

副生 CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 排出量［t］

＝ ガス購入量［t］×副生率［%］×プロセス供給率［%］

×（1－除害装置設置率［%］×除害効率［%］）

2.2 排出係数

（1）1990～1994 年

排出係数は設定していない。

（2）1995 年以降

反応消費率、除害効率及び副生率は、2006 年 IPCC ガイドラインにおける Tier 2a 法のデフォルト値を全年度共通で使用している。また、プロセス供給率については、年ごとに「経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ資料」に示された値を使用している。なお、除害装置設置率については、秘匿情報のため掲載していない。

表 1　反応消費率、除害効率、副生率

パラメータ	CF_4 (PFC-14)	C_2F_6 (PFC-116)	HFC-23	C_3F_8 (PFC-218)	c-C_4F_8 (PFC-c318)	SF_6	NF_3	NF_3 Remote
反応消費率(%)	40	－	80	－	90	40	70	97
除害効率(%)	90	－	90	－	90	90	95	95
副生 CF_4 副生率 (%)	－	－	7	－	0.9	－	－	－
副生 CF_4 除害効率(%)	－	－	90	－	90	－	－	－
副生 HFC-23 副生率(%)	－	－	－	－	2	－	－	－
副生 HFC-23 除害効率(%)	－	－	－	－	90	－	－	－
副生 C_2F_6 副生率(%)	－	－	5	－	－	－	－	－
副生 C_2F_6 除害効率(%)	－	－	90	－	－	－	－	－

（出典）IPCC, “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, Vol. 3, Chapter 6, p.6.18, Table 6.4

表 2　プロセス供給率の推移

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
プロセス供給率	%						90%	90%	90%	90%	90%
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
プロセス供給率	%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
プロセス供給率	%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
		2020	2021	2022	2023	2024					
プロセス供給率	%	90%	90%	90%	90%	90%					

（出典）経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ資料

2.3 活動量

（1）1990～1994 年

活動量は設定していない。

（2）1995 年以降

HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 購入量は、電子情報技術産業協会から収集した基礎データに基づいて把握された値を使用している。

なお、NF_3 購入量の NF_3（Remote）と NF_3 の内訳比率は、秘匿情報のため掲載していない（内訳比率のデータが断続的であるため、データがある年にはそれぞれを分けて計算し、データがない年は、安全率を見込んで全て NF_3 としている [3]。）。

プロセス供給率（90%）の残存分 10%の取扱いについては、容器に 90%を再充填して出荷される場合は本排出源で排出量が計上される。また、残存分の 10%を破壊処理して容器を洗浄する場合や、そのまま大気中に放出される場合は、ガスメーカーにおける排出量として「2.B.9.- 製造時の漏出」で計上されている。

[3] NF_3（Remote）よりも NF_3 の方が、反応消費率が低いことから（表 1 参照）、NF_3 排出量がより大きくなるため。

表 3　活動量（HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 購入量）の推移

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HFC-23 購入量	t						0.1	0.1	0.3	0.3	1.4
PFC-14購入量	t						20.7	19.2	36.1	39.6	48.1
PFC-116購入量	t						0.4	0.6	1.0	1.1	1.8
PFC-c318購入量	t						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SF_6購入量	t						11.5	34.2	47.2	57.9	80.4
NF_3購入量	t						8.1	16.2	30.5	49.4	77.9
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
HFC-23 購入量	t	0.7	1.0	1.3	1.3	1.6	1.6	1.6	1.7	1.5	1.1
PFC-14購入量	t	47.3	30.9	41.0	46.6	65.0	77.8	86.5	80.4	69.3	51.9
PFC-116購入量	t	2.7	3.9	3.4	4.7	9.3	9.9	8.7	5.2	4.1	2.3
PFC-c318購入量	t	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.8	1.2	2.0	1.9	1.7
SF_6購入量	t	85.3	83.3	93.8	99.1	101.0	101.4	106.5	117.4	146.8	127.1
NF_3購入量	t	106.9	102.4	153.3	184.4	226.1	232.2	296.0	438.9	556.1	532.2
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HFC-23 購入量	t	1.1	1.2	1.0	1.3	1.5	1.1	1.1	1.1	1.3	1.2
PFC-14購入量	t	93.7	124.3	121.1	154.5	191.7	177.1	151.8	185.0	176.4	164.0
PFC-116購入量	t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PFC-c318購入量	t	1.6	1.9	1.7	1.4	1.8	1.1	1.1	1.1	0.6	0.9
SF_6購入量	t	176.9	129.0	104.1	107.4	126.2	126.6	109.6	116.4	117.0	98.6
NF_3購入量	t	764.1	718.0	668.0	783.8	918.9	808.0	691.9	813.2	767.0	664.5
		2020	2021	2022	2023	2024					
HFC-23 購入量	t	0.9	0.7	1.0	0.6	0.5					
PFC-14購入量	t	174.9	193.6	136.9	79.8	66.5					
PFC-116購入量	t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
PFC-c318購入量	t	0.9	0.4	0.5	0.3	0.2					
SF_6購入量	t	95.1	87.1	84.4	49.3	41.0					
NF_3購入量	t	718.1	805.7	630.7	368.0	306.6					

（出典）経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ資料

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

	2014 年提出	2015 年提出	2017 年提出
排出・吸収量算定式	1990～1994 年の排出量を算定、計上。	・改訂 UNFCCC インベントリ報告ガイドラインで新たに対象となった NF_3 の排出量を算定、計上。 ・2006 年 IPCC ガイドラインの適用に伴い、副生排出量として C_2F_6 及び HFC-23 の排出を算定、計上。	「液晶製造に伴う HFCs、PFCs、SF_6、NF_3 の排出」の注釈記号の見直し（IE 及び NO→NA）。
排出係数	－	－	－
活動量	－	－	－

（1）初期割当量報告書における算定方法

1）排出・吸収量算定式

1995 年以降の HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量は、液晶製造に使用している各ガスの購入

量、プロセス供給率、反応消費率、除害装置設置率及び除害効率を用いて算定していた。

1995 年以降の副生 CF_4 排出量は、液晶製造に使用している各ガスの購入量、副生率、プロセス供給率、除害装置設置率及び除害効率を用いて算定していた。

なお、1990～1994 年の排出量は未推計（NE）として報告していた。また、NF_3、副生 C_2F_6 及び副生 HFC-23 排出量は算定していなかった。

排出量［t］＝HFC-23、PFCs 及び SF_6 排出量［t］＋ 副生 CF_4 排出量［t］

HFC-23、PFCs 及び SF_6 排出量［t］

＝ ガス購入量［t］×プロセス供給率［%］×（1－反応消費率［%］）×（1－除害装置設置率［%］×除害効率［%］）

副生 CF_4 排出量［t］＝ ガス購入量［t］×副生率［%］×プロセス供給率［%］×（1－除害装置設置率［%］×除害効率［%］）

2）排出係数

反応消費率は 1996 年改訂 IPCC ガイドラインのデフォルト値（表 5 の変更前の値参照）を全年共通で使用していた。また、除害効率、副生率、プロセス供給率は、「産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止小委員会（現：経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ）資料」で把握された値（表 6 の変更前の値参照）を使用していた。なお、除害装置設置率については、秘匿情報のため掲載していない。

3）活動量

1995 年以降の HFC-23、PFCs 及び SF_6 購入量は、「産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止小委員会資料」で把握された値を使用していた（現行の活動量と同様。）。

（2）2014 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

1990～1994 年の排出量も算定を行い、報告することとした。1990～1994 年の HFC-23、PFCs 及び SF_6 排出量については、排出量の算定に必要なデータが不足しているため、1995 年の排出量を、それぞれ HFCs、PFCs 及び SF_6 国内出荷量で外挿して算定していた。

1995 年以降については、初期割当量報告書における算定式と同様。

2）排出係数

1990～1994 年については、排出係数は設定していない。

1995 年以降については、初期割当量報告書における排出係数と同様。

3）活動量

1990～1994 年については、活動量は設定していない。

1995 年以降については、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）2015 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

改訂 UNFCCC インベントリ報告ガイドラインで新たに対象となった NF_3 排出量を計上することとした。また、2006 年 IPCC ガイドラインの適用に伴い算定式の見直しを行い、副生排出量として C_2F_6 及び HFC-23 の排出を考慮することとした（現行の算定方法と同様。）。

1990～1994 年の HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量については、排出量の算定に必要なデータが不足しているため、1995 年の排出量を、それぞれ HFCs、PFCs 及び SF_6 国内出荷量、NF_3 国内生産量で外挿して算定していた。

1995 年以降については、2006 年 IPCC ガイドラインの Tier 2a 法にのっとって排出量を算定していた。

HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量は、使用している各ガスの購入量、プロセス供給率、反応消費率、除害装置設置率及び除害効率を用いて算定していた。

副生 CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 排出量は、使用している各ガスの購入量、副生率、プロセス供給率、除害装置設置率及び除害効率を用いて算定していた。

排出量［t］＝HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量［t］
＋ 副生 CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 排出量［t］

HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 排出量［t］
＝ ガス購入量［t］×プロセス供給率［%］×（1－反応消費率［%］）
×（1－除害装置設置率［%］×除害効率［%］）

副生 CF_4、C_2F_6 及び HFC-23 排出量［t］
＝ ガス購入量［t］×副生率［%］×プロセス供給率［%］
×（1－除害装置設置率［%］×除害効率［%］）

2）排出係数

2006 年 IPCC ガイドラインの適用に伴い、適用する反応消費率のデフォルト値を見直した（現行の排出係数と同様。）。

表 5　変更前後の反応消費率

			CF_4 (PFC-14)	C_2F_6 (PFC-116)	HFC-23	C_3F_8 (PFC-218)	c-C_4F_8 (PFC-c318)	SF_6	NF_3	NF_3 Remote
反応消費率	%	変更前	20	30	70	60	70	50	－	－
		変更後	40	－	80	－	90	40	70	97

（出典）変更前：IPCC,“Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories”, 2000, Chapter 3, p.3.74, Table 3.15
変更後：IPCC, “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, Vol. 3, Chapter 6, p.6.18, Table 6.4

表 6　変更前後の除害効率、副生率及びプロセス供給率

			CF_4 (PFC-14)	C_2F_6 (PFC-116)	HFC-23	C_3F_8 (PFC-218)	c-C_4F_8 (PFC-c318)	SF_6	NF_3	NF_3 Remote
除害効率	%	変更前	90	90	90	90	90	90	－	－
		変更後	90	－	90	－	90	90	95	95
副生 CF_4 副生率	%	変更前	－	10	－	20	－	－	－	－
		変更後	－	－	7	－	0.9	－	－	－

副生 CF_4 除害効率	%	変更前	－	90	－	90	－	－	－	－
		変更後	－	－	90	－	90	－	－	－
副生 HFC-23 副生率	%	変更前	－	－	－	－	－	－	－	－
		変更後	－	－	－	－	2	－	－	－
副生 HFC-23 除害効率	%	変更前	－	－	－	－	－	－	－	－
		変更後	－	－	－	－	90	－	－	－
副生 C_2F_6 副生率	%	変更前	－	－	－	－	－	－	－	－
		変更後	－	－	5	－	－	－	－	－
副生 C_2F_6 除害効率	%	変更前	－	－	－	－	－	－	－	－
		変更後	－	－	90	－	－	－	－	－
プロセス供給率	%	変更前	90%							
		変更後	90%							

（出典）変更前、変更後（プロセス供給率）：経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ（旧：産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止小委員会）資料
変更後（除害効率、副生率）：IPCC, “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, Vol. 3, Chapter 6, p.6.18, Table 6.4

3）活動量

1995 年以降の HFC-23、PFCs、SF_6 及び NF_3 購入量は、「経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ資料」で把握された値を使用することとした（現行の活動量と同様。）。

（4）2017 年提出インベントリにおける算定方法

1）報告方法（注釈記号）の変更

「2.E.2 液晶製造」では、HFCs 及び PFCs の合計排出量、SF_6、NF_3 の排出量を計上している。HFCs 及び PFCs については、ガス種別の排出量は計上せず、HFC-23、PFC-14（CF_4）、PFC-116（C_2F_6）、C_3F_8、C_4F_{10}、c-C_4F_8、C_5F_{12}、C_6F_{14} の排出については「IE：他に含む」、その他の HFCs 及び PFCs は「NO：ガスの排出に結びつく活動が存在しない」としていたが、カテゴリー全体が共通の活動となるカテゴリーであり、「NO」としている箇所に矛盾が生じているため、適切な注釈記号について検討する必要があった。

同排出源の報告方法ついて検討した結果、液晶製造はカテゴリー全体が共通の活動と考えられ、かつ、2006 年 IPCC ガイドラインには「液晶製造では HFC-23、CF_4、C_2F_6、C_3F_8 が副生物として生成される。c-C_2F_8 から重量ベースで 2%の HFC-23 が副生する。」との記載があり、その他の HFCs、PFCs も副生ガスの発生を否定できないカテゴリーであるが、2006 年 IPCC ガイドラインには HFC-23、PFC-14（CF_4）、PFC-116（C_2F_6）、C_3F_8 以外のガス種の副生ガスとしての排出に関する算定方法の記載がなく、かつ、現時点までに国内で HFC-23、CF_4、C_2F_6、c-C_4F_8、SF_6 及び NF_3 以外のガス種が排出されているとの報告がないことから、「IE」及び「NO」としていたその他の HFCs 及び PFCs については、「NA：活動自体は存在するが、特定の温室効果ガスの排出が起こらない」として報告することとした。