2.G.2.- 加速器（Accelerators）（SF_6）

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

大学・研究施設及び産業用・医療用（がん治療）の粒子加速器[1]の絶縁用の充填ガスとして SF_6 が使用されており、機器の保守時に、充填ガスである SF_6 が貯蔵タンクに移される際に SF_6 が排出される。

1.2 排出・吸収トレンド及びその要因

「2.G.2.- 加速器」からの SF_6 排出量は増加と減少を繰り返しながらも、全体としては増加傾向である。これは主に、SF_6 充填量が多いため排出寄与割合が高い産業用粒子加速器の稼働台数の推移を反映している。ただし、1998～2001 年にかけての排出量減少は、主に大学・研究施設における粒子加速器の稼働台数の減少によるものである。

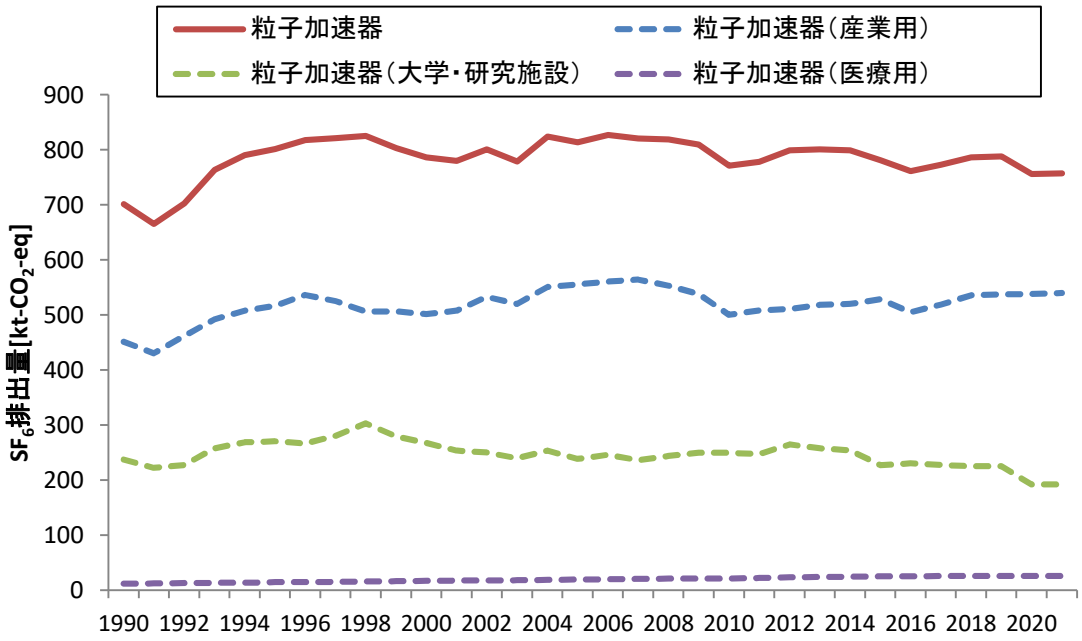

図 1　「2.G.2.- 加速器」からの SF_6 排出量の推移

2．排出・吸収量算定方法

2.1 排出・吸収量算定式

粒子加速器からの SF_6 排出量については、2006 年 IPCC ガイドラインの Tier 1 法に従い、加速器の稼働台数に、SF_6 使用率、SF_6 充填量及び SF_6 排出率を乗じて SF_6 排出量を算定している。ここで、SF_6 使用率とは、粒子加速器のうち SF_6 を使用している機器の割合（%）であり、SF_6 充填量と

[1] 粒子加速器とは、電子や陽子のような素粒子やヘリウムからウランに至る様々な原子核を、電気を使い高速に加速することで、様々な量子ビーム（粒子線）を供給する装置である。

は、SF_6 を使用している機器における 1 台当たりの SF_6 充填量（kg/台）であり、SF_6 排出率とは、SF_6 充填量に対する年間の SF_6 排出率（%）である。なお、本排出源の算定結果については、使用時の SF_6 排出量に計上し、製造時及び廃棄時は「NE：未推計」として報告している。

SF_6 排出量＝（加速器の稼働台数）×（SF_6 使用率）×（SF_6 充填量）×（SF_6 排出率）

2.2 排出係数

SF_6 使用率、SF_6 充填量及び SF_6 排出率については、国内の粒子加速器メーカーに対するヒアリング調査結果及び 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値を用いて設定している（表 2 参照）。

2.3 活動量

粒子加速器（放射線発生装置）の稼働台数については、「放射線利用統計（日本アイソトープ協会）」で把握されている年度別の使用許可台数[2]（発生装置種類別・機関別）を当該年の加速器の稼働台数とみなして用いている。

また、「放射線利用統計」の把握対象外となる定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数については、「原子力年鑑（日本原子力産業協会）」の設置台数より、加速器の寿命（20 年：粒子加速器メーカーへのヒアリング結果を踏まえて設定）を考慮して推計している。なお、1993 年及び 1994 年の設置台数は「原子力年鑑」で把握できないため、「放射線と産業 No.69, 1996（放射線利用振興協会）」より得ている。「原子力年鑑」の 1 MeV 未満の電子加速器設置台数は、上記を除き 1971～2004 年について把握されているため、1971 年から使用が開始されたものとみなし、20 年が経過したものから順に廃棄されると仮定して（1991 年から廃棄開始。）、稼働台数を推計している。

2005 年以降の設置台数については、放射線装置室等の設置届の件数[3]に、1 MeV 未満の電子加速器の設置台数に対する放射線装置室等の設置届の件数の比（2005 年比）を乗じて推計している。ただし、既存統計により把握可能な 1 MeV 未満の電子加速器の累積設置台数は 2004 年までとなることから、2005 年の設置台数を 2000～2004 年の平均設置台数（9 台/年）で設定し、2005 年の設置台数に対する 2005 年の設置届件数の比を求めることとする。

---

2 各年度末断面のものであるが、全て年値として扱う。

3 労働安全衛生法の「放射線装置」の届出情報（労働安全衛生規則の建設物機械等設置移転変更届（様式第二十号））については、放射線障害防止法の対象となる「放射線発生装置」及び同法の対象外となる「1 MeV 未満の電子加速器」の設置届と考えられることから、2005 年以降の設置台数の活動指標として妥当な指標と考えられる。また、本情報は厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課電離放射線労働者健康対策室より提供を受けている。

表 1　活動量（粒子加速器の稼働台数）の推移

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
粒子加速器数（大学・研究施設）	台	188	176	180	204	213	214	211	222	240	221
粒子加速器数（産業用（放射線発生装置））	台	143	134	144	156	161	164	168	160	148	148
粒子加速器数（産業用（定格出力1MeV未満の電子加速器））	台	243	239	256	264	272	276	294	303	312	313
粒子加速器数（医療用）	台	531	552	576	595	610	641	656	681	707	741
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
粒子加速器数（大学・研究施設）	台	212	201	198	190	201	209	216	207	214	219
粒子加速器数（産業用（放射線発生装置））	台	145	147	159	157	176	181	184	187	186	181
粒子加速器数（産業用（定格出力1MeV未満の電子加速器））	台	314	318	318	305	291	282	280	276	263	255
粒子加速器数（医療用）	台	754	781	791	802	838	857	874	905	922	936
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
粒子加速器数（大学・研究施設）	台	218	216	231	225	222	241	245	242	239	239
粒子加速器数（産業用（放射線発生装置））	台	174	179	184	188	190	193	183	191	198	198
粒子加速器数（産業用（定格出力1MeV未満の電子加速器））	台	218	215	203	201	197	201	196	192	196	198
粒子加速器数（医療用）	台	926	986	1,028	1,068	1,081	1,108	1,114	1,146	1,132	1,132
		2020	2021								
粒子加速器数（大学・研究施設）	台	239	239								
粒子加速器数（産業用（放射線発生装置））	台	198	198								
粒子加速器数（産業用（定格出力1MeV未満の電子加速器））	台	200	202								
粒子加速器数（医療用）	台	1,132	1,132								

（出典）定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数（1990～1992 年、1995～2004 年）:「原子力年鑑（日本原子力産業会議（現　日本原子力産業協会））」の設置台数より、加速器の寿命（20 年：メーカーヒアリング）を考慮して推計

定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数（1993 年、1994 年）:「放射線と産業 No.69, 1996（放射線利用振興協会）」）の設置台数より、加速器の寿命を考慮して推計

定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数（2005 年以降）: 放射線装置室等の設置届の件数に、1 MeV 未満の電子加速器の設置台数に対する放射線装置室等の設置届の件数の比（2005 年比）を乗じて推計した設置台数より、加速器の寿命を考慮して推計

放射線発生装置の稼働台数 :「放射線利用統計（日本アイソトープ協会）」（2005 年及び 2008 年の使用許可台数については、「放射線利用統計」で未把握となっているため、前後年の使用許可台数の平均である。また、2018 年 4 月の国連報告時点では、2016 年については、「放射線利用統計」が未発行であったため、2015 年の値としている。）

※医療用加速器は、SF_6 を使用していないサイクロトロン及びシンクロトロンを除いた台数である。

表 2　粒子加速器からの SF_6 排出量算定における稼働台数及び各パラメータの設定

<table>
<tr><th>用途</th><th colspan="2">稼働台数</th><th colspan="2">SF_6 使用率</th><th>SF_6 充填量</th><th>SF_6 排出率</th></tr>
<tr><td>大学・研究施設の粒子加速器</td><td rowspan="5">放射線利用統計
(放射線発生装置)</td><td>研究機関及び教育機関の使用許可台数</td><td colspan="2">2006IPCCGL
デフォルト値
33%</td><td>2006IPCCGL
デフォルト値
2,400（kg/台）</td><td>国内施設での SF_6 損失量より設定
（表 3 を参照）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">医療用の粒子加速器</td><td rowspan="3">医療機関の使用許可台数</td><td>シンクロサイクロトロン、直線加速装置、ベータトロン</td><td>100%注</td><td rowspan="2">2006IPCCGL
のデフォルト値
0.5（kg/台）</td><td rowspan="2">2006IPCCGL
のデフォルト値
200%</td></tr>
<tr><td>サイクロトロン、シンクロトロン</td><td>ヒアリング調査結果
0%</td></tr>
<tr><td>ファン・デ・グラーフ加速装置、コッククロフト・ワルトン加速装置、変圧器加速装置、プラズマ発生装置</td><td colspan="3">国内での使用許可実績なし
（1990~2016 年）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">産業用の粒子加速器</td><td rowspan="2">民間企業及びその他の機関の使用許可台数</td><td>プラズマ発生装置以外の放射線発生装置（サイクロトロン等）</td><td>100%注</td><td>2006IPCCGL
高電圧
（0.3-23 MV）
のデフォルト値
1,300（kg/台）</td><td>2006IPCCGL
高電圧
（0.3-23 MV）
のデフォルト値
7%</td></tr>
<tr><td>プラズマ発生装置</td><td colspan="3">国内での使用許可実績なし
（1990~2016 年）</td></tr>
<tr><td>原子力年鑑</td><td>1 MeV 未満の電子加速器の設置台数より寿命を考慮し推計</td><td colspan="2">100%注</td><td>メーカーへのヒアリング結果
400（kg/台）</td><td>2006IPCCGL
高電圧
（0.3-23 MV）
のデフォルト値
7%</td></tr>
</table>

※SF_6 の使用率が具体的に把握できなかったため、100%（全て SF_6 使用）としている。

【参考 1】2006 年 IPCC ガイドラインの産業用の低電圧（<0.3MV）のデフォルト値は、SF_6 充填量 115（kg/台）、SF_6 排出率 1.3%となっている。

【参考 2】1 MeV 未満の電子加速器の SF_6 充填量については、メーカーへのヒアリングの結果、電圧レベル別の回答が得られたが、安全側として最大値を用いている。

表 3　大学・研究施設設置の粒子加速器の SF_6 排出率

項目	1990～2004	2005～2009	2010～2014	2015～2019	2020～2025
SF_6 排出率	0.070 kg/kg	0.063 kg/kg	0.063 kg/kg	0.052 kg/kg	0.045 kg/kg

（出典）JAEA-Technology 2010-023 「タンデム加速器高圧ガス製造施設の運転管理」、及び日本原子力研究開発機構 環境報告書を基に算出

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

	2015 年提出	2016 年提出	2020 年提出
排出・吸収量算定式	2006 年 IPCC ガイドラインの適用に伴い、新たに対象となった本排出源の排出量を算定、計上。	－	－
排出係数	－	－	大学・研究施設設置の粒子加速器の SF_6 排出率の変更。
活動量	－	1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数の把握方法の変更。	－

（1）初期割当量報告書における算定方法

2006 年 IPCC ガイドラインから新たに追加された排出源であり、初期割当量報告書では算定していなかった。

（2）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

2006 年 IPCC ガイドラインにおいて、本排出源が新規排出源として追加されたため、算定方法を検討し、現在の算定方法を確立した（現行の算定方法と同様。）。

粒子加速器からの SF_6 排出量については、2006 年 IPCC ガイドラインの Tier 1 法に従い、加速器の稼働台数に、SF_6 使用率、SF_6 充填量及び SF_6 排出率を乗じて SF_6 排出量を算定していた。なお、本排出源の算定結果については、使用時の SF_6 排出量に計上し、製造時及び廃棄時は「NE：未推計」として報告した。

SF_6 排出量＝（加速器の稼働台数）×（SF_6 使用率）×（SF_6 充填量）×（SF_6 排出率）

2）排出係数

SF_6 使用率、SF_6 充填量及び SF_6 排出率については、国内の粒子加速器メーカーに対するヒアリング調査結果及び 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値を用いて設定した（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

粒子加速器（放射線発生装置）の稼働台数については、「放射線利用統計」より把握していた（現行の活動量と同様。）。「放射線利用統計」の把握対象外となる定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数については、「原子力年鑑」の設置台数より、加速器の寿命（20 年：メーカーヒアリング）を考慮して稼働台数を推計した。ここで、「原子力年鑑」で設置台数が把握できない 2005 年以降の稼働台数については、2004 年の稼働台数に産業用粒子加速器（放射線発生装置）の使用許可台数の伸び率（2004 年比）を乗じて算出した（表 5 の改訂前の値）。

（3）2016 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

2015 年提出インベントリと同様（現行の算定方法と同様。）。

2）排出係数

2015 年提出インベントリと同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

「放射線利用統計」の把握対象外となる定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の稼働台数については、「原子力年鑑」の設置台数より、加速器の寿命を考慮して稼働台数を推計していたが、「原子力年鑑」では 2005 年以降の設置台数が把握できないことから、労働安全衛生法の「放射線装置」の届出情報（労働安全衛生規則の建設物機械等設置移転変更届（様式第二十号））を基に、2005 年以降の稼働台数の推計方法を改訂した。

具体的には、2005 年以降の稼働台数は、放射線装置室等の設置届の件数に、定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の設置台数に対する放射線装置室等の設置届の件数の比（2005 年比）を乗じて推計することとした。ただし、既存統計により把握可能な 1 MeV 未満の電子加速器の累積設置台数は 2004 年までとなることから、2005 年の設置台数を 2000～2004 年の平均設置台数（9 台/年）で設定し、2005 年の設置台数に対する 2005 年の設置届件数の比を求めることとした（現行の活動量と同様。）。

改訂前後の稼働台数を比較した結果は表 5 のとおりである。従来の推計方法では、2004 年の稼働台数を基に「産業用粒子加速器の使用許可台数」で外挿して直接稼働台数を推計した結果であるため、廃止台数は考慮されていない。改定後の推計方法では、設置届により推計した設置台数を求めた上で、廃止台数を考慮して稼働台数を求めている。このため、従来の推計方法では、稼働台数が過大であったと考えられる。

表 5　定格出力 1 MeV 未満の電子加速器の累積設置台数及び稼働台数（改訂前後の比較）

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
累積設置台数（台/年）	243	256	278	289	303	310	326	342	351	361
稼働台数（台/年）	243	239	256	264	272	276	294	303	312	313

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
累積設置台数（台/年）		371	382	391	397	406	***415***	***424***	***434***	***443***	***451***
稼働台数（台/年）	前	314	318	318	305	291	299	304	309	308	299
	後						282	280	276	263	255

		2010	2011	2012	2013	2014
累積設置台数（台/年）		***461***	***471***	***481***	***490***	***500***
稼働台数（台/年）	前	288	296	304	311	288
	後	218	215	203	201	197

※稼働台数の「前」は、改訂前の推計方法による稼働台数、「後」は改訂後の推計方法の稼働台数である。
※改訂前の推計方法では、2004 年の稼働台数を基に産業用粒子加速器の使用許可台数で外挿して求めている。

（4）2020 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

2015 年提出インベントリと同様（現行の算定方法と同様。）。

2）排出係数

大学・研究施設設置の粒子加速器については、原子力科学研究所のタンデム加速器高圧ガス製造施設における SF_6 ガス排出管理情報として、2002～2018 年までの年間 SF_6 損失量のデータが得られたことから、同データを用いて、我が国独自の SF_6 排出率を設定した。

大学・研究施設における SF_6 損失については、どの加速器とも同様に、日々の運転サイクルや SF_6 の回収・充填の過程で生じていること、また、損失量データが得られた原子力科学研究所の高圧ガス製造施設は国内最大級の加速器であり、リークされる量は小規模の施設に比べても大きく、排出量の過小評価にはならないと考えられることから、把握された損失量データより、2002～2018 年までの累積平均値を求め、データのばらつきや対策効果の反映を考慮して、一定期間（2005～2009 年、2010～2014 年、2015～2018 年）ごとに累積平均した SF_6 排出率（kg/kg）を排出係数として設定することとした。2004 年以前はこれまでと同様に 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値（0.07 kg/kg）を設定した。

表 6　大学・研究施設設置の粒子加速器の SF_6 排出率（再掲）

項目	1990～2004	2005～2009	2010～2014	2015～2019
SF_6 排出率	0.070 kg/kg	0.063 kg/kg	0.063 kg/kg	0.052 kg/kg

（出典）JAEA-Technology 2010-023 「タンデム加速器高圧ガス製造施設の運転管理」、及び日本原子力研究開発機構 環境報告書を基に算出

他の排出係数については 2015 年提出インベントリと同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

2016 年提出インベントリと同様（現行の活動量と同様。）。