

FRPH010 KEK 電子陽電子入射器における高周波源および導波管高周波窓の運転保守

○馬場昌夫¹, 東福知之¹, 今井康雄¹, 熊野宏樹¹, 諸富哲夫¹, 明本光生², 荒川大², 片桐広明², 川村真人², 設楽哲夫², 竹中たてる², Qiu Feng², 中島啓光², 中尾克巳², 夏井拓也², 福田茂樹², 本間博幸², 松本利広², 松下英樹², 三浦孝子², 道園真一郎², 矢野喜治², 松本修二²
¹三菱電機システムサービス(株), ²高エネルギー加速器研究機構

1. はじめに

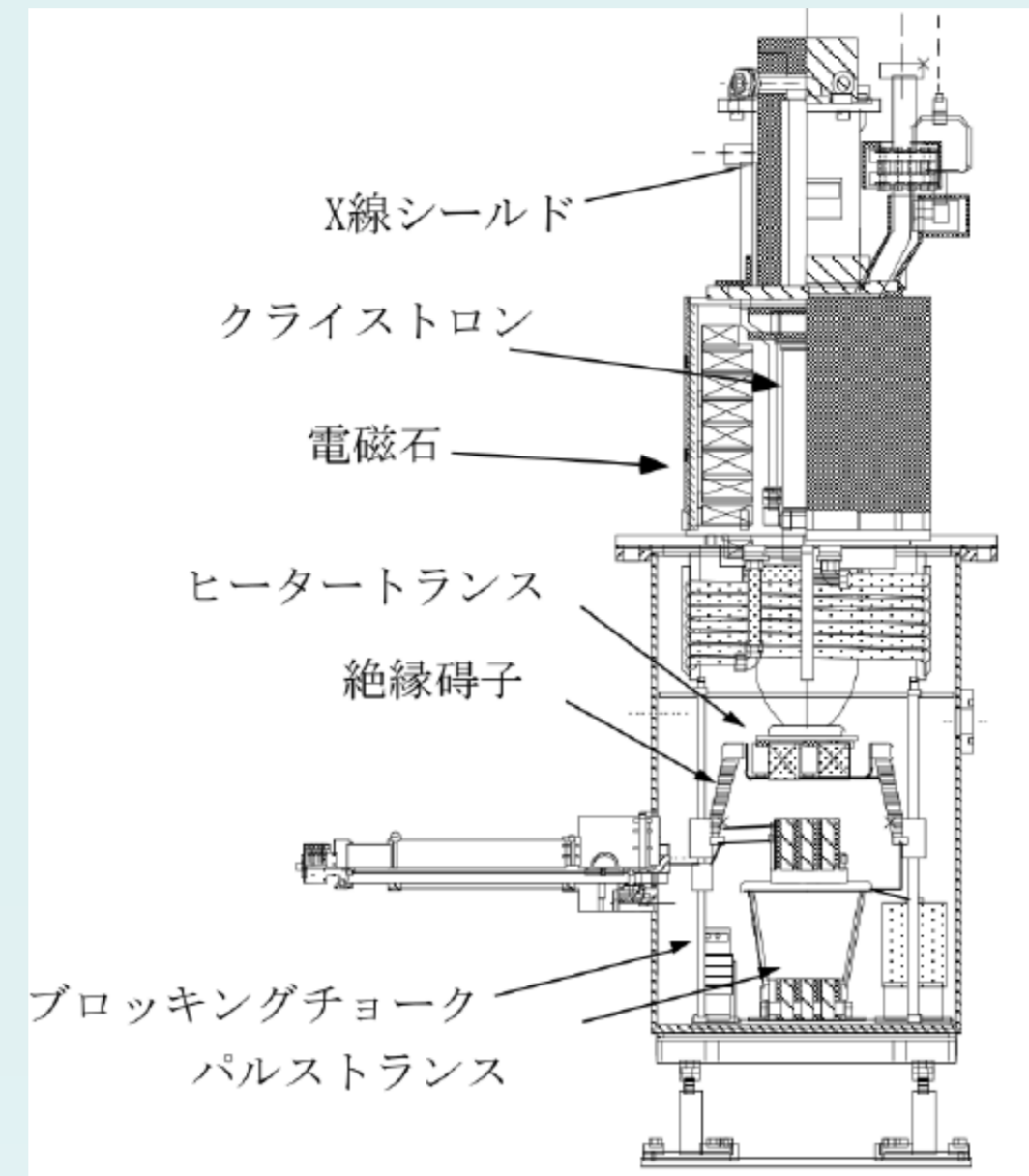
KEK 電子陽電子入射器では、高周波源として 60 台の大電力 S バンドクライストロンが、また高電圧スイッチとして 60 台のサイラトロンが使用されている。2018 年度は約 5,300 時間の運転が行われた。本稿ではクライストロン、サイラトロン、導波管高周波窓に関する統計及び高周波源に関する不具合事例と運転保守について報告する。

2. クライストロンアセンブリ

クライストロンアセンブリの構成

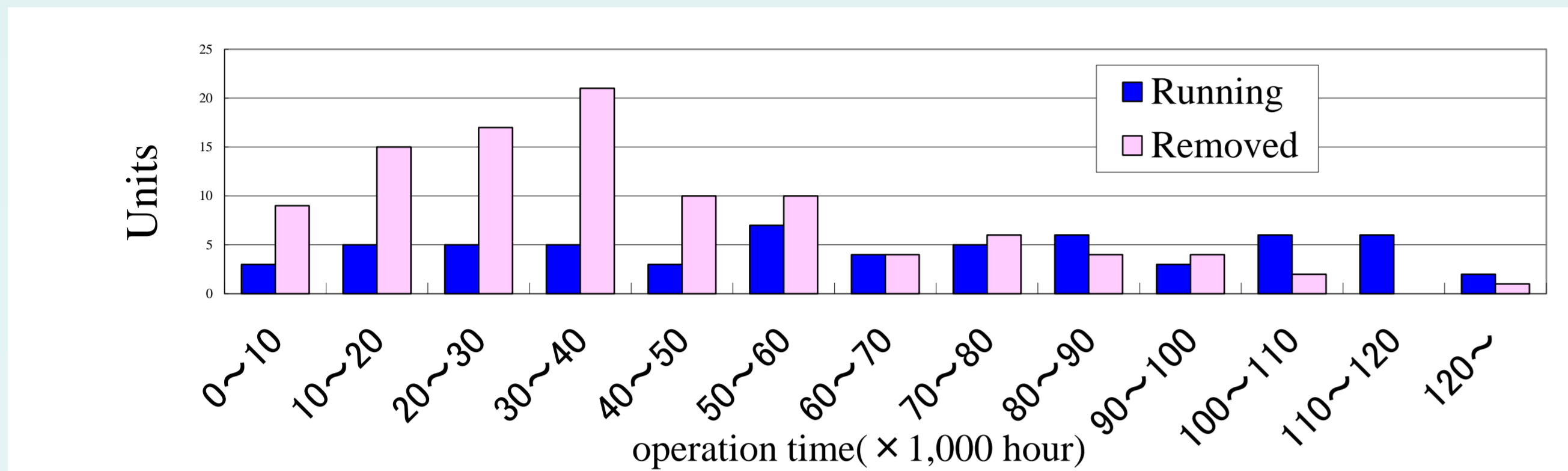
クライストロン仕様

クライストロン	周波数：2856MHz
パルストランス	平均パルス出力電力：40MW
タンク	RFパルス幅：4μs
集束電磁石	繰返し：50pps



2.1 クライストロンの運転統計

【クライストロン使用状況】



現在使用しているクライストロンの平均運転時間は約 65,000 時間であり、不具合により撤去したクライストロンアセンブリの平均運転時間は約 39,000 時間である。

10万時間以上運転しているクライストロンが14台(全体の2割以上)ある。

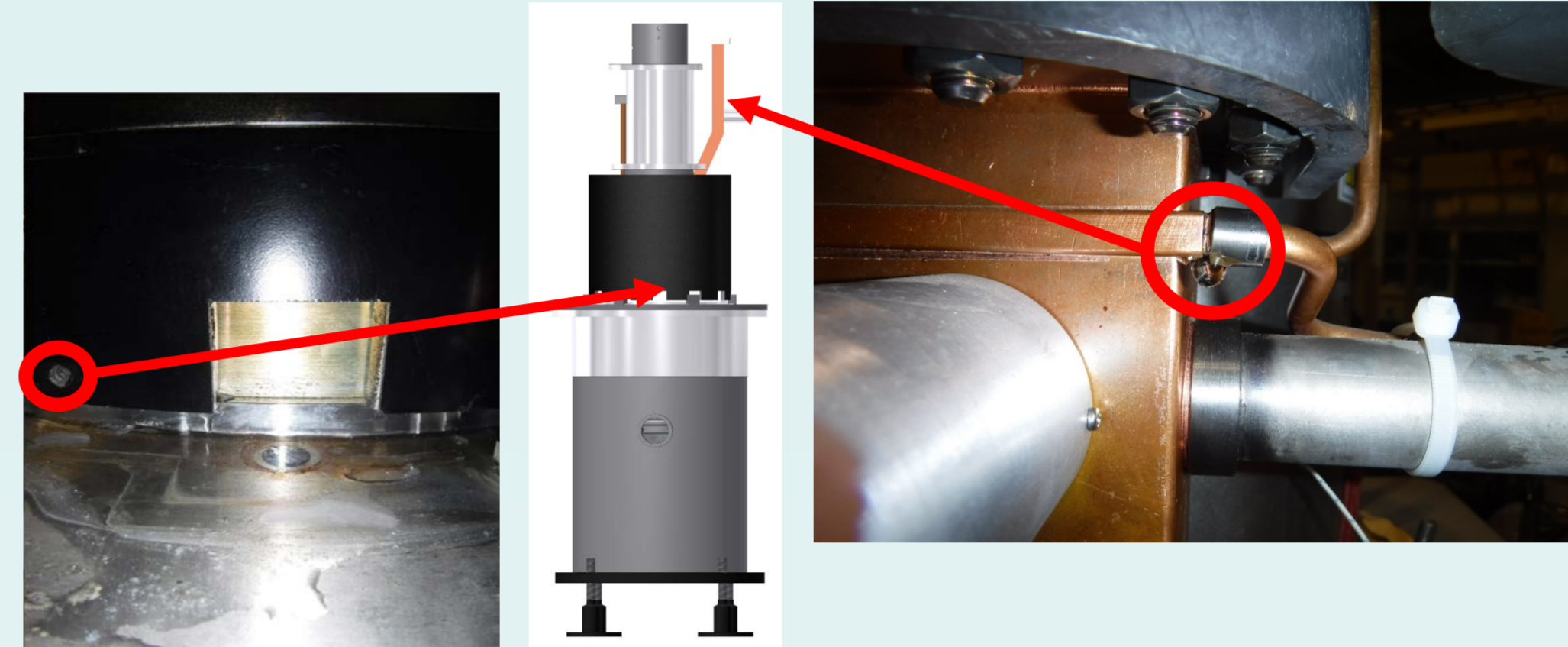
【2000年度以降の交換理由と交換台数】

年度	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	計	
アセンブリ交換数	9	9	10	8	6	6	5	7	1	13	1	4	5	3	1	3	2	4	6	103	
交換理由	エミッション減少	2	1	0	2	3	2	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15
	KLY 発振等	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	KLY ヒーター断線	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	5
	PT 不具合 (タンク内放電も含む)	4	3	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	MAG 不具合	0	2	0	3	1	2	2	1	1	9	0	1	0	1	0	0	0	4	2	29
	絶縁油劣化	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	KLY 窓リーク (撤去後確認)	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
		(4)	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(14)
その他	2	0	1	0	1	0	0	4	0	4	1	1	3	1	1	3	2	0	2	26	

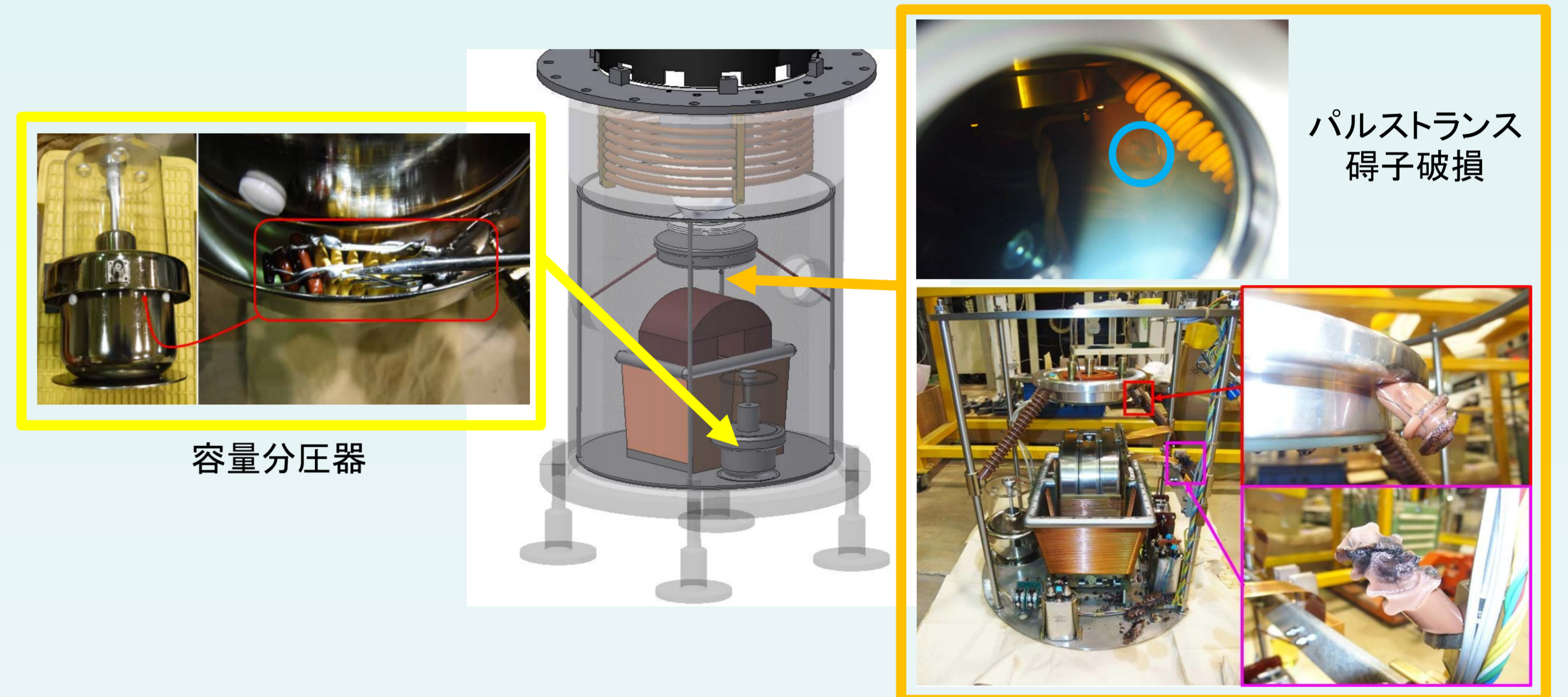
2018年度はクライストロンアセンブリのタンク内放電等により、6台の交換を行なった。

2.2 クライストロンアセンブリのトラブル事例

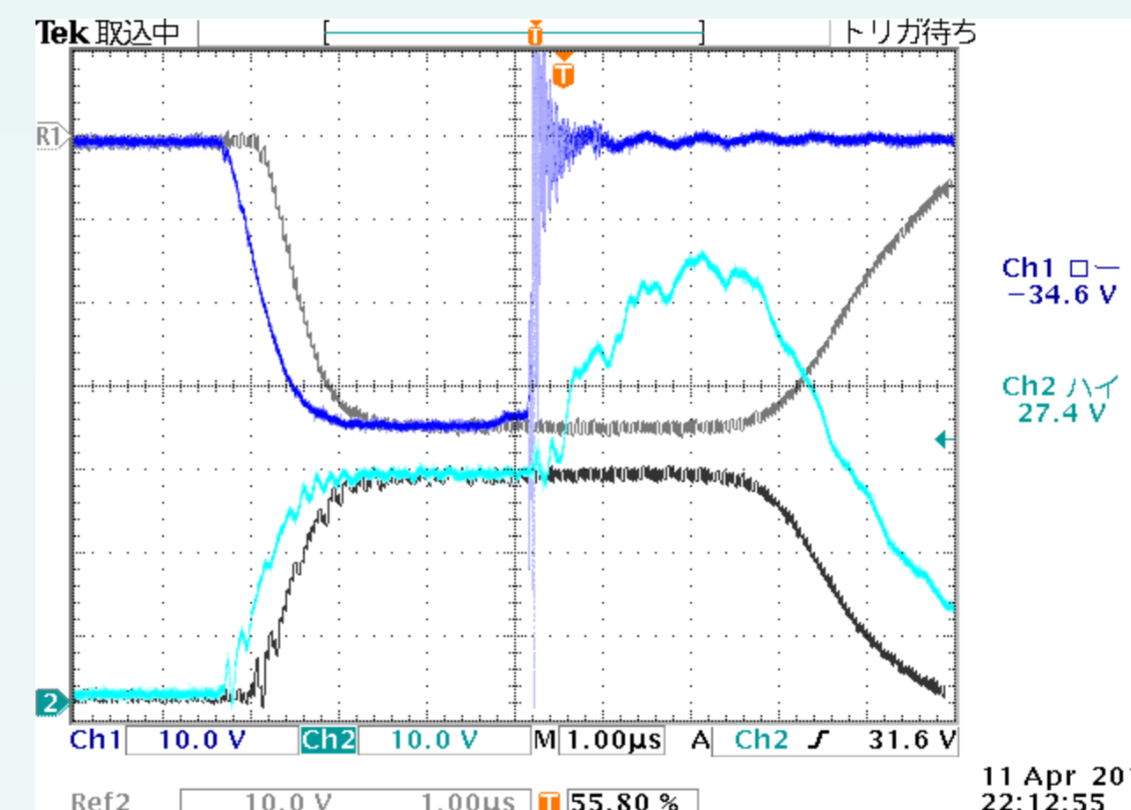
- (1) クライストロン集束電磁石絶縁抵抗低下(1台) → #4 コイルの絶縁抵抗が低下。
- (2) クライストロン集束電磁石の水抜き穴からの漏水(2台)
 [1 台目] クライストロン導波管冷却用配管の継ぎ目(ロウ付け)部分より水漏れ。
 [2 台目] クライストロン、集束電磁石の通水または加圧試験にて水漏れ箇所を調査。



- (3) パルストランスの不具合(2台)
 [1 台目] クライストロンヒータートランスを支えている碍子4本中1本が破損。
 [2 台目] クライストロン印加電圧測定用の容量分圧器 (Capacitive Divider) の分割比調整用コンデンサの接続が複数箇所外れていた。



(4) クライストロンの過電流インターロックが多発(1台)



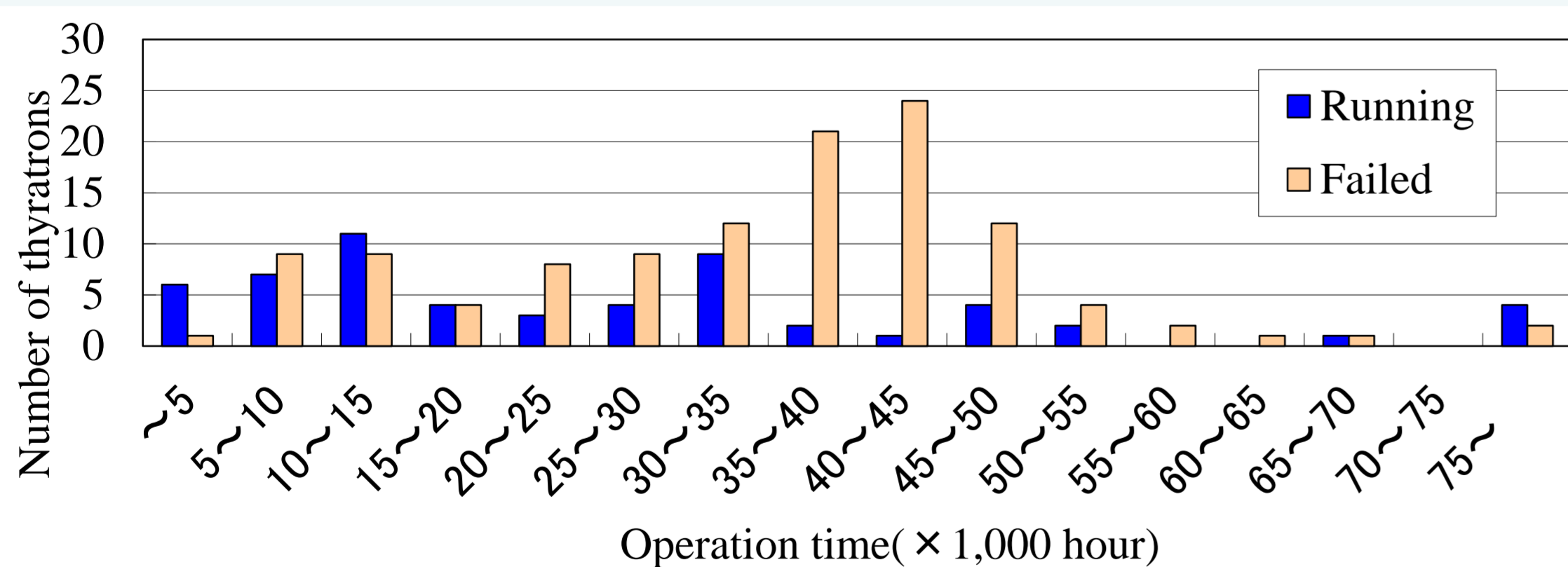
ダウン時のクライストロン電流波形に放電(電流が大きく増加)の履歴が見られた。

撤去後のクライストロンは内部真空の悪化が見られないため、別のパルストランスと組み合わせて試験を行なう予定。

3. サイラトロン

大電力高周波源用パルス電源の高圧パルスのスイッチとして 45kV, 4.5kA をスイッチングする水素サイラトロンが使用されている。

【サイラトロン使用状況】



2019年3月現在運転しているサイラトロンの平均運転時間は約 34,000時間である。また、故障により交換したものの平均運転時間は約 38,000時間である。

2018 年度は11台のサイラトロン交換を行なっており、重要ユニットの早期事前交換 7台が含まれる。以下の不具合により 4台交換している。

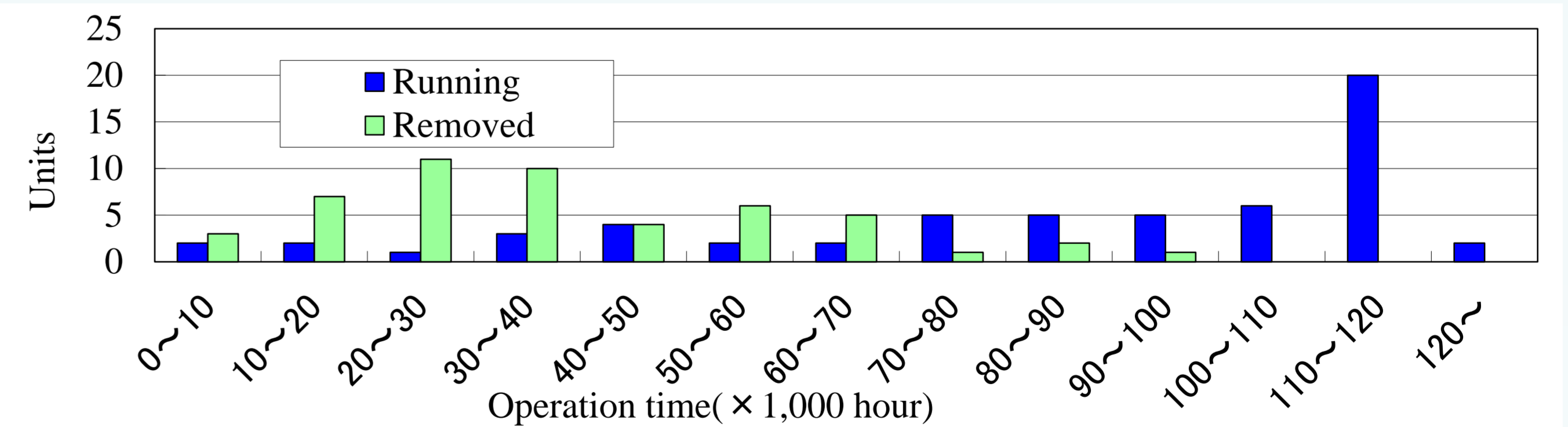
- ・キープアライブ電流が流れず(リザーバガス減少): 1台
- ・ヒーター電流及びリザーバ電流低下によるインターロックの作動が多発: 1台
- ・サイラトロン自爆が多い: 1台
- ・ジッタ大: 1台

4. 導波管高周波窓

高周波窓は真空を保持し高周波を通過させる為に用い、クライストロン出力部と導波管部に使用している。導波管高周波窓はクライストロンアセンブリ交換の際に加速管を真空に保つため設置している。



【導波管高周波窓使用状況】



現在使用中の導波管高周波窓は11~12万時間使用しているものが最も多く、平均運転時間は約84,000時間である。撤去済み導波管高周波窓の平均運転時間は約59,000時間である。

2013年長期メンテナンス後から2018年までの期間で真空漏れ等のトラブルによる高周波窓の交換は無かった。

- ・運転中の VSWR 監視、反射が生じた場合に運転値を調整して高周波出力を下げる対処
- ・クライストロン窓、WG窓温度測定(年 2回)
- ・クライストロンアセンブリ周りの放射線測定(年 2回)

5. まとめ

2018年度に交換したクライストロンアセンブリ 6台の内、3台は 10万時間を超えて運転したものである。導波管高周波窓についても長寿命化が進み、全体の1/3 が11万時間以上継続して使用している。今後、長期使用による経年劣化が原因で発生する不具合が増えてくることが予想されるため、各種点検等によるデータの蓄積を継続して不具合の兆候を捉えるよう努める。