

アンケート WG 結果報告

—環境・安全委員会／アンケート WG 結果分析—

環境・安全委員会／アンケート WG

Survey Working Group Results Report

Environment and Safety Committee / Survey Working Group Results Analysis

Environment and Safety Committee / Survey Working Group

Synopsis: The Environment and Safety Committee established a questionnaire working group (WG) with the aim of assessing the reliability of superconducting devices, the refrigerators and liquefiers used for their cooling, and associated equipment (hereinafter collectively referred to as “the equipment”), and of reflecting the findings in the safety guidelines currently under development. A questionnaire survey targeting members of the society was conducted from January to February 2025. This paper reports the results of the survey analysis, which clarified the current operational status of the equipment as well as safety-related issues.

Keywords: Safety, Reliability, Survey

(Some figures in this article may appear in colour only in the electronic version)

1. はじめに

超電導技術の産業化が進展している。従来の医療、半導体分野に加え、輸送分野においても本格的な社会実装に向けた動きが加速している。これらの超電導機器及び極低温冷凍機、液化機それらの付属機器類（以下機器類）の使用上の特徴としてインフラストラクチャ用途としての大会安全と信頼性が求められることである。ただし、その運転、操作は専門的な知識を有する専任の技術者が行い、メンテナンスも計画的に実施することが期待でき、さらに一般の住人とは安全な離隔距離を保てる専用施設内に機器類が設置されていることである。

近年は超電導技術に限らず、新技術導入にあたり安全^①と信頼性の定量的な評価基準の確立が強く問われ、関連するコストや時間が増大し、導入が進まないことも多く、安全や信頼性の定量的な評価基準の確立が強く求められる。

しかし、現状では超電導技術に関する安全や信頼性の統一基準は存在していない。そのためある程度定量的な評価が可能と考えられる信頼性については、我が国が率先して検討を行い、公平、公正な世界基準の作成をけん引していきたいと考えている。また、安全については学会員の知見を得て、現在作成中の安全テキストに生かしていくことで、

現場の作業員および機器類の安全を高めていきたいと考える。

そこで、環境・安全委員会では、機器類の現状を把握するために学会員を対象に実態調査のアンケートを行うこととし、アンケート WG を立ち上げた。

注：「安全」という用語の扱いに関して

JIS Z 8115 では、「安全」と「安全性」を区別して定義しているが、同規格の元となる IEC 60050-192 では safety である。本報告書では特に断りがない場合は「安全」で統一する。

2. アンケート WG について

2.1 WG 設立経緯

2008 年に発足した環境・安全委員会と 2016 年に発足した ASCOT^②冷却システム検討会は、個別に機器類の規制緩和、標準化及び性能や安全評価などについて検討を行ってきたが、2022 年に両者が共同して機器類の安全と信頼性評価を行うために、現状を知るためのアンケートを行うこととした^③。検討を重ねる中で、安全に関する情報収集のウェイトが高くなることから活動主体を環境・安全委員会の下に置くのが適当と判断し、委員会規程第 25 条 (Table 2.1-1) に従い 2023 年 5 月に環境・安全委員会の下にアンケート WG を設置した。

- 1) 技術開発コンソーシアム「つくば応用超電導コンステレーションズ」Applied Superconductivity Constellations of Tsukuba (ASCOT)
- 2) M.Ikeuchi et al.: Abstracts of CSSJ Conference, Vol.104(2022)p.93

Table 2.1-1 委員会規程

第 25 条 各委員会は、必要に応じて分科会（以下「WG」という。）を設け、特定事項について審議し作業することを求めることができる。

2 WGの委員は、各委員会で選出する。

3 WGには、委員長 1 名を置くこととし、委員会が決定する。

4 WGの招集は、議決その他会議の運営は、第 19 条に準じる。
(運営は委員会の運営に準じて行う)

2.2 目的及び構成メンバー

超電導機器と、それを冷却する冷凍機・液化機および付随する機器類（以下、機器類）の定量的な信頼性評価手法を確立し、我が国が先頭に立ってその標準化の議論を進めるため、本アンケートを通してトラブルなどに関する情報を低温工学・超電導学会員を中心に広く収集し、今後の委員会活動に生かすことを目的とする。

主に安全に関する情報は、環境・安全委員会の安全テキストの作成等に反映し、主に信頼性に関する情報は、IEC/TC90 の活動等において国際的な規格・標準化の作成に生かすことに留意するものとした。

構成メンバーは、委員会規程に従い、委員長として東京大学の淵野修一郎氏に決定し、他のメンバーはユーザー側、メーカー側それぞれ 3 名を選出した。（Table 2.2-1）。

Table 2.2-1 WG 構成メンバー

委員長	
淵野（東大）	
ユーザー側	メーカー側
楨田（KEK）	平井（大陽日酸）
三戸（NIFS）	李（住重）
鷺山（東大）	池内（前川）

2.2 活動

WGの概略の活動内容を以下に記す。

- 2023 年 -

- 5/31 WG 設置
- 8/24 アンケートの目的確認、概要検討。
- 11/13 アンケート原案作成。
- 12/4 アンケート WG 活動公開*)

- 2024 年 -

- 2/9 試用アンケート作成 (FORMS)。
- 4/26 結果から課題を修正し限定アンケート作成。全体スケジュール作成。
- 4/30 限定アンケート実施(6/11 まで)
- 8/23 限定アンケート結果検討。アンケート作成。
- 11/25 限定アンケート結果公開**)

- 2025 年 -

- 1/15 アンケート実施(2/28 まで)
- 3/31 アンケート結果検討
- 12/9 アンケート結果報告***)

* R.Sagiyama et al.: Abstracts of CSSJ Conference, Vol.106(2023)p.52

** M.Ikeuchi et al.: Abstract of CSSJ Conference, Vol.108(2024)P.48

***M.Ikeuchi et al.: Abstract of CSSJ Conference, Vol.110(2025)P.17

3. アンケート内容

3.1 作成方針

(1) 対象機器

超電導機器、極低温冷凍機/液化機及びそれらの付属機器

(2) 対象者

メーカー、ユーザーの区別なく学会員全員を対象。

(3) 質問事項の検討

質問事項に関し、大きく以下の 5 項目について検討を行った。

- 1) 回答者の属性：回答者の経験との関連があるかを知るため。
- 2) 安全：現状の使用している機器類や施設の安全対策と不足点（ユーザー、メーカーそれぞれの視点、立場での意見を調査）を知るため。
- 3) 信頼性：現状の機器類の信頼度や不足点（ユーザー、メーカーそれぞれの視点、立場での意見を調査）を知るため。
- 4) 現場での安全教育：環境・安全委員会で作成中の安全テキストの参考として、教育担当者に伺う。
- 5) 学会への要望：学会及び環境・安全委員会に対する要望、意見など、自自由な意見を伺う。

(4) 安全と信頼性

安全と安全性、信頼性と信頼度などに多様な用語があり、実際には混在して用いられる場合も多いが、本アンケートでは、客観的かつ定性的な用語として「安全」「信頼性」を用いることにする。

3.2 アンケート項目

アンケートは全部で66問であるが、一人の回答者が複数の機器類を扱っていることを考慮し3台まで回答可能としたため数が多くなっている。

- (1) 回答者の情報 質問番号 (以降 Q) 1~6
扱う機器類や従事年数など回答者の属性を伺う
 - (2) 機器トラブル Q8~18. Q20~30. Q32~42
主に機器類の信頼性を中心に、運転時間、メンテナンス、トラブル事象など。機器3台までの質問を用意
 - (3) 安全について Q44~56
安全対策 (機器側、施設側)、運転監視など
 - (4) 安全教育 Q58~61
安全教育に実施やテキスト作成の有無など
 - (5) 共通設問 Q63~66
安全に関する情報提供の必要性、提案・要望など
- なお、番号に空きがあるのは分岐のための質問を、ここでは省略したためである。

4. アンケート結果

実施期間 2025年1月15日~2月28日

使用ソフト Microsoft Forms

平均回答時間 24分44秒

回答者 54名

回答者の扱っている機器類 73台

以降の各節にアンケート結果を示す。4.2節~4.5節は、選択式質問項目 (質問中「その他」の項目を設けて内容を記述するものもあるが、その内容は適宜表中に表示した)の結果は図で表し、記述式の場合は、記述いただいたものをそのまま表中に示した (Table 4.3-1 のみ選択式質問の結果を表で示す)

4.1 回答者の特徴

アンケート結果から回答者の特徴を分析するため、Q1からQ5の質問を、扱う機器 (Q8) 毎に分類した (Table 4.1-1)。詳細な分析は以下で述べるが、多様な経験を有する方々に回答を頂いたと考えている。職業ごとの立場として、ユーザーの立場からの回答が機器数73台のうちの52台 (70%) を占めており、アンケートはユーザーサイドからの意見が多く反映されていると考えている。

・所属と職業上の立場

所属は、回答者54名中、半数以上が大学関係者、民間企業は33%であった (Fig.4.1-1)。大学等教育機関、公的研究機関所属者は全員がユーザーの立場での回答であり、民間企業はメーカーの立場からの回答が大半を占めた (Table 4.1-2)。研究・教育に従事する方が54名中の36名 (67%)

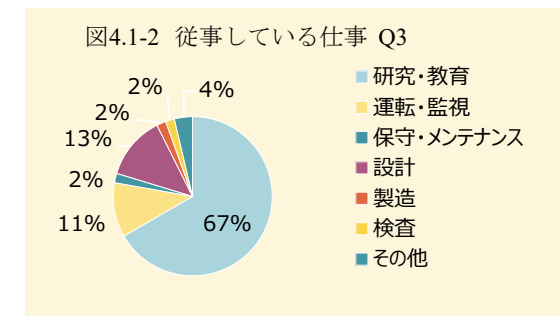
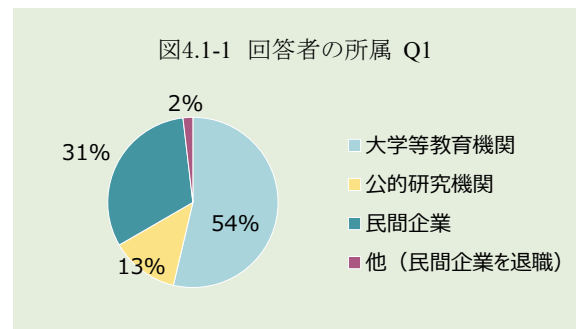


Table 4.1-1 扱っている機器73台のなかのアンケート回答者54名の傾向

	Q8	Q1			Q2			Q3						Q4			Q5										
		機器数	大学等教育機関	公的研究機関	民間企業	ユーザー	メーカー	他	研究・教育	運転・監視	保守・メンテナンス	設計	製造	検査	その他	3年未満	3~5年未満	5~10年未満	10年以上	ほぼ毎日	週に1~2回程度	月に1~2回程度	年に数回程度	その他 (過去に扱っていた...)			
超電導マグネット	9	4	3	2	7	2	0	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	9	1	2	2	3	1				
超電導マグネット+冷凍機	25	14	4	7	18	6	1	1	1	3	0	0	1	0	1	8	1	6	7	10	4	3	1				
超電導送電ケーブル+冷凍機	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1				
超電導回転機	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0				
NMR/MRI	2	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1				
液化機	11	7	2	2	9	2	0	5	5	0	1	0	0	0	0	1	1	9	5	4	1	1	0				
大型冷凍機	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0				
小型冷凍機	7	4	0	3	5	2	0	6	0	0	1	0	0	0	1	1	0	5	1	1	2	1	2				
運搬容器・極低温配管	8	4	1	3	6	2	0	6	1	0	1	0	0	0	0	1	2	5	1	2	1	4	0				
その他	8	3	1	4	5	3	0	4	0	0	2	1	1	0	0	0	1	7	0	4	1	0	3				
計	73	37	13	23	52	19	2	4	8	2	1	0	1	1	1	2	1	4	1	2	5	6	15	25	12	12	9

を占め、現場作業主体と思われる運転監視、保守・メンテナンスに従事する方は7名（13%）であった（Fig.4.1-2）。

・経験年数と機器を扱う頻度

回答者は10年以上の経験をもつベテランが74%を占めている（Fig.4.1-3）。また、回答者の半数以上が週1～2回以上の頻度で機器類を扱っている（Table 4.1-3）。

・所有資格

高圧ガス製造保安責任者の資格は回答者の26名（全体の48%）が取得している（Table 4.1-4）。また、民間企業では資格

を取得していない回答者が多いが、メーカーの立場の者が大半であることから、工場での機器類の試運転では高圧ガス保安法が適用されないことも一因と考えられる。

・取扱機器類

取扱機器は超電導マグネット+冷凍機が多く次ぎに液化機であった。この二つだけで全体の機器類の半分を占めている。（Table4.1-5）。

所属ごとの担当者一人が担当する機器類は、単純計算で大学等教育機関が37台/29人=1.28台/人、公的研究機関が13台/7人=1.86台/人、民間企業（退職者含む）が28台/18人=1.56台/人、全体の平均では73台/54台=1.35台/人であった。

Table 4.1-2 所属と職業上の立場

職業上の立場 Q2	所属 Q1		
	大学等教育機関	公的研究機関	民間企業
ユーザー	28	7	3
メーカー	0	0	14
他	1*		1**
	29	7	18

*：超電導機器に関してはメーカー、極低温機器に関してはユーザー

**：民間企業を退職

Table 4.1-3 回答者 54 名の所属と機器類を扱う頻度

Q1\Q5	ほぼ毎日	週に1～2回程度	月に1～2回程度	年に数回程度	その他（過去に扱っていた・・・）	計
大学等教育機関	9	7	6	5	2	29
公的研究機関	1	4	1	1	0	7
民間企業	1	6	2	3	6	18
計	11	17	9	9	8	54

Table 4.1-4 回答者 54 名と所有する資格（重複あり）

Q1\Q6	高圧ガス製造保安責任者	電気主任技術者	電気工事士	エネルギー管理士	危険物取扱者	エックス線作業主任者	なし	他	計
大学等教育機関	16	2	1	1	6	5	9	0	40
公的研究機関	5	0	1	0	2	0	2	2	12
民間企業	5	2	1	1	2	0	12	0	23
計	26	4	3	2	10	5	23	2	75

Table 4.1-5 扱っている機器類（重複あり）

Q8,20,32\Q1	大学等教育機関	公的研究機関	民間企業	計
超電導マグネット+冷凍機	14	4	7	25
超電導マグネット	4	3	2	9
超電導送電ケーブル+冷凍機	0	0	1	1
超電導回転機	1	0	0	1
NMR/MRI	0	1	1	2
液化機	7	2	2	11
大型冷凍機	0	1	0	1
小型冷凍機	4	0	3	7
運搬容器・極低温配管	4	1	3	8
その他	3	1	4	8
計	37	13	23	73

4.2 信頼性

アンケート Q10 から回答者が扱っている機器類の運転実績の概略を示す。

- 累積運転時間：2,100,000(複数台の可能性あり)～3,500h
- 年間運転時間：8,760(連続)～12h
- 年間発停回数：800～1回

回答結果を見ると、累積運転時間連続運転時間とも様々であり、無回答も多かったので定量的な評価は難しい (Table 4.2-1)。運転方法は非常に多彩であり長期の連続運転や 800 回もの年間運転回数など、状況に応じた非常に多様な使われ方をしていることが分る。また、長期連続運転を実施していることを多くの回答者が回答している。同表には無答を除く個別の回答を、数値化できる回答は数値化し、説明を記入してあったものは備考欄に要約して示した。

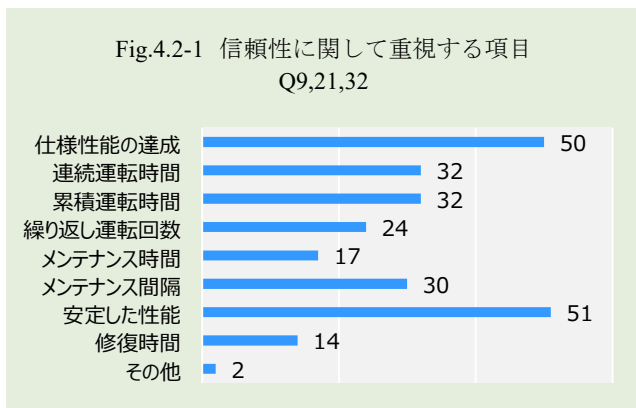
Table 4.2-1 機器類の累積運転時間/年間運転時間/年間運転回数 Q10

累積運転時間 (h)	年間最大運転時間 (h)	年間運転回数 (回)	備考
50,000	4,000	2	
	8,760=24h×365d	常時	
2,100,000	21,000	1(連続)	(複数台稼働の可能性あり)
80,000	8,000	800	(同上)
5,000	15	90	
25,000	12	80	
	8,760=24h×365d		
>100,000	8,760	連続	
8,500			
10,000-20,000	1,000	100	
>10,000	>8,000	連続	
≒26,000	≒6,000	2～3	4つのシステムの1システム当たり
13,125	12	30	
12,960=18ヶ月×30×24	1,080=1.5ヶ月×30×24	4	
>131,400=15y×8760h	>8,500	連続	(同一回答者)
52,560=6y×8,760	>8,500	連続	
>16,000	>8,000	1	
≒5,600	12	≒220	
4,000	120	15	
21,900=2.5y×8,760h			クエンチ前にも17年運転
			SQUIDは冷媒供給に依存
3,500	12	40	
	12	70	
5,500	12	90	
20,000	4,320	1	
7,500	1,000	100	
	16	6	
40,000	6,000	2	
12,000	24	200	
110,000	6,000	1	
41,600=20h×2×52w×20y	20	104=2×52	
35,040=4y×8760h			
	3600=5ヶ月×30×24	2	
50,000	4,000	1	注：()内はWG記入

・信頼性で重視する項目

信頼性で重視する項目は、性能仕様の達成と安定した性能、の回答が多くを占め、次に運転時間に値する項目が続く。

メンテナンスについては、メンテナンス間隔に注目する回答者が多い (Fig.4.2-1)。



・機器類の信頼性

当該機器類の信頼性に関し、使用する機器類 73 台のうち 66%が信頼性に問題が全くないと回答である (Fig.4.2-2)。

可動部が多い液化機や冷凍機は「たまに」など、信頼性に問題があるとの回答が比較的多い傾向にある。特に、「よくある」との回答は、連続運転 8000 時間以上の、冷凍機が付属した超電導機器に多い傾向である (Table 4.2-2)。

・信頼性を損なう具体的な事象

信頼性を損なう事象で数が多いものは、設計上の課題、故障、真空劣化など機器側に起因する事項で、これら 3 つの項目で報告された件数 (35 件) の全体 (62 件) の半数 (56%) 以上であった。(Fig.4.2-3)。

また、現場での作業・操作に直接起因すると考えられる事象の項目 (b, l, k, h, i, g, j, m, n) は個別の報告数は少ないものの合計 23 件と、数の上では全体の 37%を占めている。

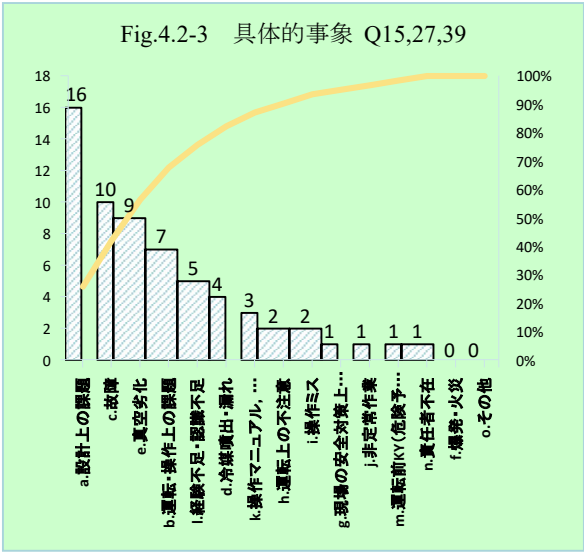
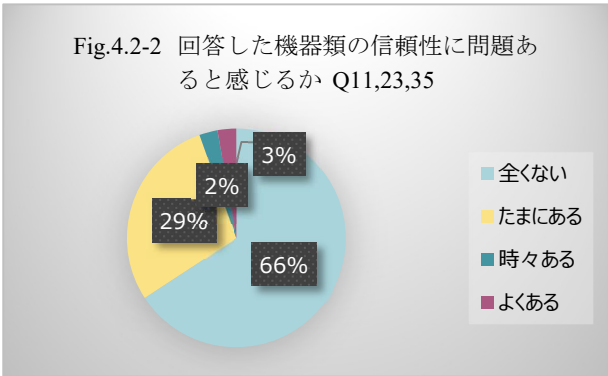


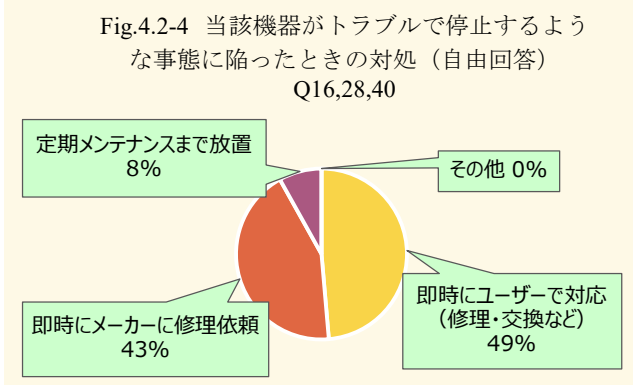
Table 4.2-2 扱っている機器と信頼性 []内はそのうち 8000 時間以上運転している機器の数

Q8, 20, 32 \ Q11, 23, 35	全くない	[連続運転 8000 時間以上]	たまに	[連続運転 8000 時間以上]	時々	[連続運転 8000 時間以上]	よくある	[連続運転 8000 時間以上]	計
超電導マグネット	7	[0]	2	[0]					9
超電導マグネット+冷凍機	15	[2]	8	[2]	1	[0]	1	[1]	25
超電導送電ケーブル+冷凍機							1	[1]	1
超電導回転機			1	[0]					1
NMR/MRI	1		1	[0]					2
液化機	5	[0]	6	[0]					11
大型冷凍機	1								1
小型冷凍機	5		1	[0]	1	[0]			7
運搬容器・極低温配管	6		2	[0]					8
その他	8	[1]							8
計	48		21		2		2		73

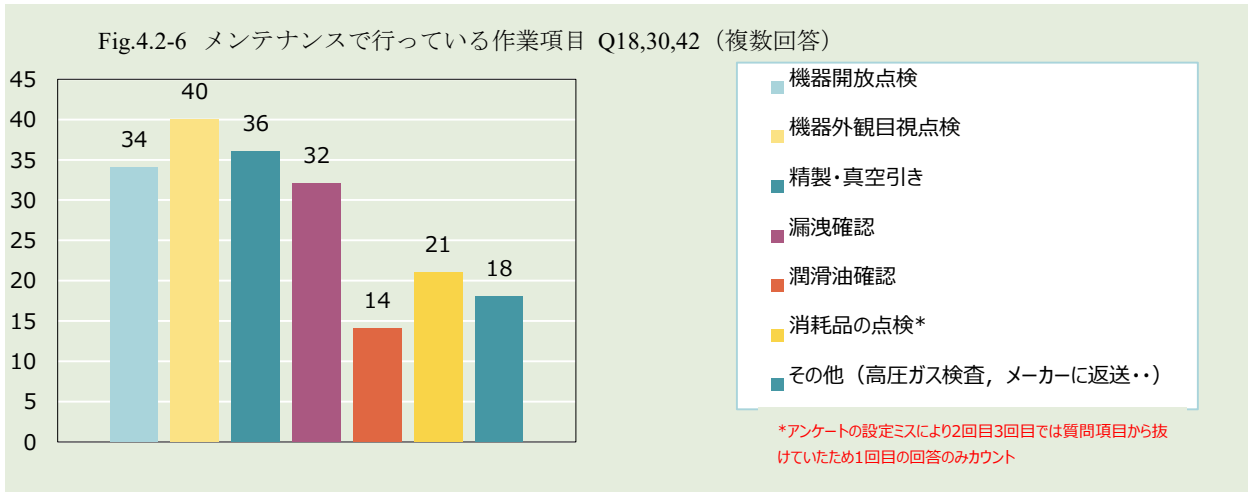
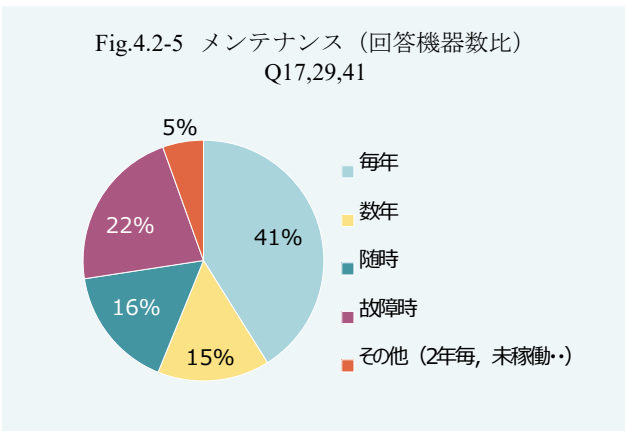
・事象発生時の対応

事象発生時の対応は、回答があった 37 件のうち、ユーザー対応とメーカー依頼がほぼ半数ずつであった。定期メンテナンスまで放置するという回答が 8% (3 件) あるが、トラブルの詳細はアンケートからは不明である (Fig.4.2-4)。

メンテナンスは、機器類 73 台のうち毎年実施が 41%、故障時実施が 22% (Fig.4.2-5) であった。

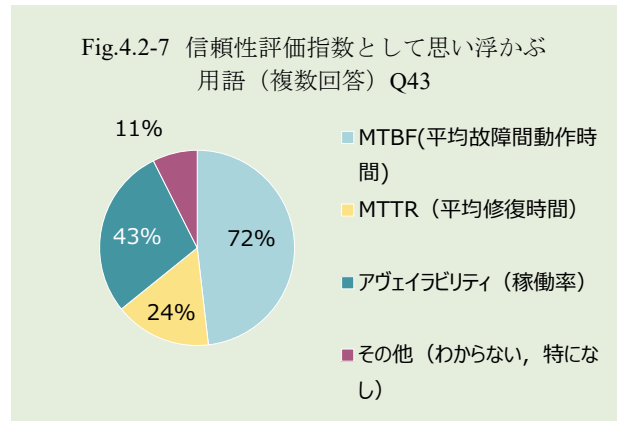


メンテナンス時に行っている作業項目を Fig.4.2-6 に示す。機器類 73 台のうち、機器開放点検、機器外観目視点検、精製・真空引き、漏洩確認はほぼ半数の機器類で行われている。



・信頼性評価指標

信頼性評価指標として思い浮かぶ用語を選択してもらった結果を Fig.4.2-7 に示す。回答者 54 名中 39 名 (72%) が MTBF を選択しており、この指標を用いる信頼性評価が広く認知されていることが分かる。



・信頼性が低いと感じる箇所、理由、対策

機器類の信頼性が低いと感じる部分とその理由について記述していただいた結果を、無答あるいは特になしとの回答以外の 15 件について、そのまま **Table 4.2-3** に示す（表中、第 1 列はマグネットを M と省略。以下同）。信頼性が低いと指摘されるのは摺動部、断熱部（真空部分含む）、冷媒中の不純物のほか、冷却水や制御空気などの共通設備部分についても記述がみられる。信頼性が低いと感じる部分の、機器側で対策が必要と考えられることを記述していただいた結果を、同様に、そのまま **Table 3.2-4** に示す。

信頼性が低いと感じる部分の、現場で対策が必要と考えられることを記述していただいた結果を、同様にそのまま **Table 4.2-5** に示す。いずれも具体的かつ貴重な情報を回答いただいている。

Table 4.2-3 機器類の信頼性が低い理由（記述）

関係している機器	当該機器について信頼性が問題(低い)と感じたことはありますか	差し支えなければ、当該機器で信頼性が問題(低い)と感じる部分とその理由を、重要と感じられる順に番号(1.2.…)をつけて教えてください。
Q8,20,34	Q11,23, 35	Q12,24, 36
超電導 M	たまにある	小型冷凍機の内圧が少しずつ低下(少し漏洩)する。
超電導 M+冷凍機	たまにある	・冷凍機本体 ・マグネットの抜き差し方式電流リード
超電導 M+冷凍機	よくある	小型冷凍機の冷凍能力低下
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. 冷凍機…コンタミ蓄積による性能低下がある 2. 真空シール…結露を伴う箇所で使用している Oリングの劣化(硬化)
超電導 M+冷凍機	たまにある	1.自動弁のシート漏れが生じる。2. 冷却水システムのフィルター目詰まり。3. 冷却所要時間が毎回同じとはならない。
超電導送電ケーブル+冷凍機	よくある	冷凍機のトラブル(主に膨張機周辺)と修復時間の長さ 長期運転時の性能低下 メンテナンス性の悪さ
超電導 M+冷凍機	たまにある	超伝導マグネットの結線がはんだで、開閉時に毎回はんだ作業が必要なこと。
超電導 M+冷凍機	時々ある	閉塞により圧力の上昇 瞬低によるコントローラーの停止
超電導 M+冷凍機	たまにある	1.自動弁;閉信号でもバルブが締まりきらずガスが漏れる。 2.付属の真空ポンプの故障頻度
液化機	たまにある	予定メンテ周期よりも短い間隔で不具合が起きる。バルブのシートリーク等もメンテナンス周期は定められていないもの、1~2年でダメになると信頼性は低いと思わざるをえない。
液化機	たまにある	1. 電装品 2. 冷却水 3. シール
液化機	たまにある	1. 制御…精製・液化のサイクル制御が不安定になる 2. 低温弁…シート漏れ 3. 空圧弁…駆動エア漏れ
液化機	たまにある	1.温度などのセンサーがたまにトラブル 2.自動で開閉するバルブがたまに開閉せず運転の中止を余儀なくされる
液化機	たまにある	熱交換器の性能低下 冷却塔の汚れ
小型冷凍機	時々ある	性能不安定。環境温度に性能が影響される。

Table 4.2-4 信頼性向上のために機器側で必要と考える対策

関係している機器	当該機器について信頼性が問題(低い)と感じたことはありますか	当該機器で信頼性が問題(低い)と感じる機器・部分の信頼性を向上させるには、機器側(メーカー)でどのような対策が必要と考えますか。差し支えなければ、その対策を重要と感じられる順に番号(1.2...)をつけて教えてください。
Q8,20,34	Q11,23, 35	Q13,25,37
超電導 M	たまにある	ユーザーによる漏洩部調査のためのガイダンス。
超電導 M+冷凍機	たまにある	霜が付くフランジ部でのシール 電気的結合部の氷、霜などの付着防止
超電導 M+冷凍機	よくある	摩耗の少ないピストンリング等の開発
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. 冷凍機については、製造段階でのコンタミの「枯らし」が有効 2. Oリングについては、劣化しにくい材質の選定
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. 制御の再現性ある、また長時間安定性のある自動弁の開発 2. 長時間安定運転が出来る冷却水システム、計装エアシステムの製作 3. 安定した断熱性能を有したトランスファーラインの製作
超電導送電ケーブル+冷凍機	よくある	1. 性能、信頼性とメンテナンス性のバランスを考えた設計 2. 故障診断技術の確立 3. 監視・警報システムの確立
超電導 M+冷凍機	たまにある	使用状況を想定したうえでの、再現性の高い設計。
超電導マグネット+冷凍機	時々ある	1. 気密性の保持、 2. 定期的なメンテナンス 3. UPS 等の設置
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. 質の向上
超電導回転機	たまにある	超電導線材の性能を単純に向上しても単なる自己満足となる場合が多い。実用を目指している応用研究者としては、もう少し機械的にロバストなど、現場の声を聞き、かつそれに耐える材料供給が必須と思われる。
液化機	たまにある	各部品の出荷時の点検に費用をかけること
液化機	たまにある	1. 制御…制御参照値(圧力等)の閾値の余裕確保 2. 低温弁…耐久性のあるシート材質選定 3. 空圧弁…施工管理
液化機	たまにある	故障診断の充実
液化機	たまにある	1.故障診断の充実 2.トラブルに対する交換部品を迅速で安価な供給
液化機	たまにある	1. 不純物の分離・回収 2. 冷却水の高機能フィルター設置
小型冷凍機	時々ある	1. 仕様の決定には十分な余裕を持つ必要がある

Table 4.2-5 信頼性向上のために現場で必要と考える対策

関係している機器	当該機器について信頼性が問題(低い)と感じたことはありますか	当該機器で信頼性が問題(低い)と感じる機器・部分の信頼性を向上させるには、現場(ユーザー)でどのような対策が必要と考えますか。差し支えなければ、その対策を重要と感じられる順に番号(1.2...)をつけて教えてください。
Q8,20,34	Q11,23, 35	Q14,26,38
超電導 M	たまにある	1. 圧力伝送器や温度計などプローブの追加とそれらの記録を行い、異常の原因同定に役立てる。2. 電力や冷却水など施設側の機器の信頼性も上げる。
超電導 M+冷凍機	たまにある	長い連続運転試験の実績
超電導 M+冷凍機	よくある	定期的な予防保全対応
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. 冷凍機については、メーカー推奨のインターバルによるメンテナンスの実施 2. 真空シールでは、数年毎のオーバーホールによるOリング交換
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. システム内ガスの徹底したリークチェック。2. 定期的な自動弁の保守・調整作業。 3. 定期的な断熱真空層の真空排気。
超電導送電ケーブル+冷凍機	よくある	1. 適切なメンテナンス(内容、間隔) 2. マニュアルの整備(故障時含む) 3. 操作に精通したオペレータの育成(冷凍機の仕組みも理解できている)
超電導 M+冷凍機	たまにある	手順書の充実。
超電導 M+冷凍機	時々ある	1. 常時監視 2. 予算の確保 3. メーカーの変更
超電導 M+冷凍機	たまにある	1. 信頼性の低い箇所の把握 2. 信頼性の低い箇所に関する対応マニュアル
液化機	たまにある	予備品の確保、ガスの精製
液化機	たまにある	1. 制御…異常が発生したらメーカー問い合わせ(ユーザーでは不具合原因判別つかない) 2. 低温弁…予備品をもち、マニュアルがあればユーザーでメンテナンス実施 3. 空圧弁…予備品をもち、ユーザーで交換実施
液化機	たまにある	適切なメンテナンス、運転捜査員の技術の向上、運転捜査員の能力の向上
液化機	たまにある	1.予備部品の確保
液化機	たまにある	1. 冷媒ガス用吸着器の再生 2. 昇温による熱交換器の再生 3. 水熱交換器の監視
小型冷凍機	時々ある	性能に余裕の範囲で使用すべき、性能のぎりぎりのところで使用すると十分な信頼性の確保が困難。

4.3 安全

・安全に対して重視する事象・事項

安全に対して重視する事象・事項に対する回答を Fig.4.3-1 に示す。図中の数字は回答者 54 名のうち該当項目を選択した方の割合で左の目盛り線に対応している。パレート線は右の目盛り線対応している。

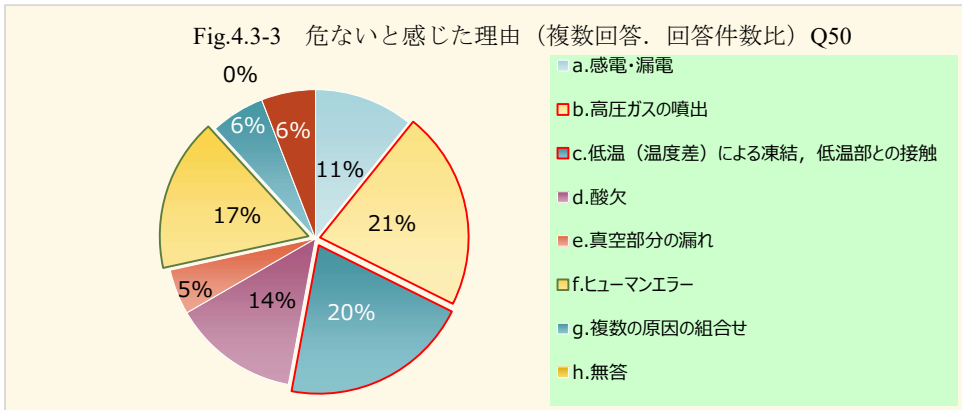
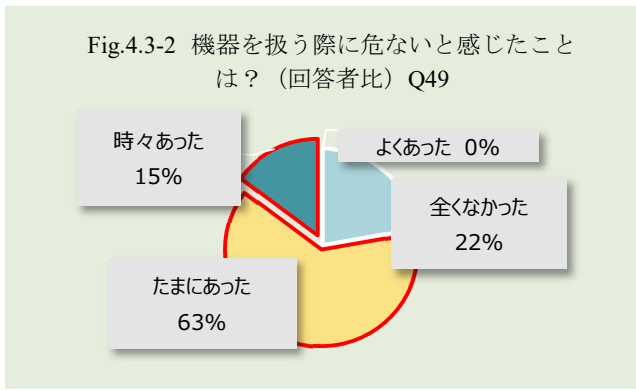
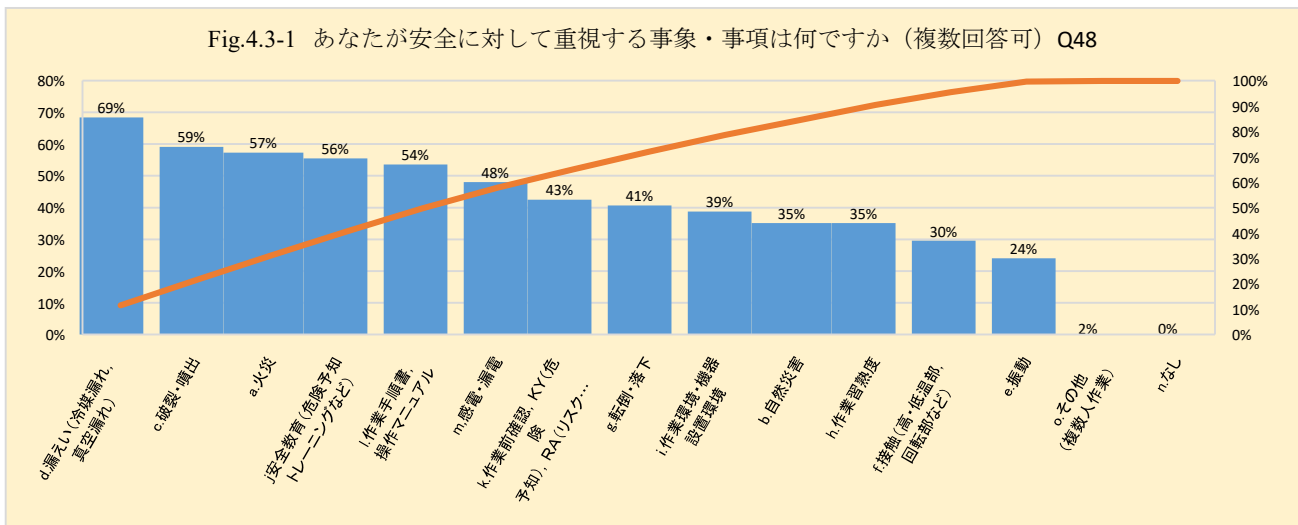
回答者の半分以上が重視する上位 5 項目は、累積回答数でも半数を超えており関心の高い項目であることが分かる。

上位 5 項目のうち上位 3 つは具体的な発生事象であるが、残りの 2 つは安全を高めるための対策事項であり、回答者が安全を向上させるため、発生事象とその対策の両方において活動に大きな関心を持っていることがうかがえる。

・機器類を扱う際に危ないと感じた割合と理由

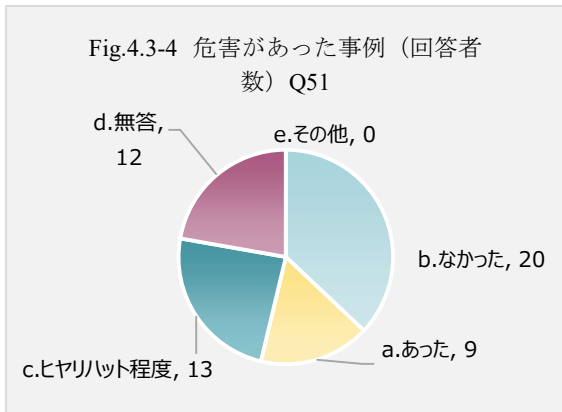
機器類を扱う際に危ないと感じた割合は、Fig.4.3-2 に示す通り、回答者 54 名の 78% (図中赤枠) であった。よくあった、との回答はなかった。

危ないと感じた理由を Fig.4.3-3 に示すが、高圧ガスの噴出(21%)及び低温による凍結・接触(20%)で4割以上を占める。これらの次に多いのがヒューマンエラー(17%)となっていることは注目点と考えている。なお、無答の回答はなかった。



・実際に危害が生じた事例

実際に危害が生じたか質問したところ（自由記述），20件（回答者の 37%）がないと回答している。「あった」，「ヒヤリハット程度」との回答は合わせて 22 件（回答者の 41%）であった（Fig.4.3-4）



・危害の生じた原因

Fig.4.3-5 に危害の生じた事例の原因を示す。操作員・作業員の不注意，経験・知識不足，運転・操作ミス の 3 項目で合計 27 件と多く，これら 3 項目で累積件数は全回答数 55 件の半数以上を占めている。さらに同図より，現場作業に起因したヒューマンエラーと考えられる項目 (f,j,k,l,m,n,o,p,r) を合わせると 41 件 (75%) を占めている。現場での安全対策・安全教育・訓練の仕方に課題があると考えられる。

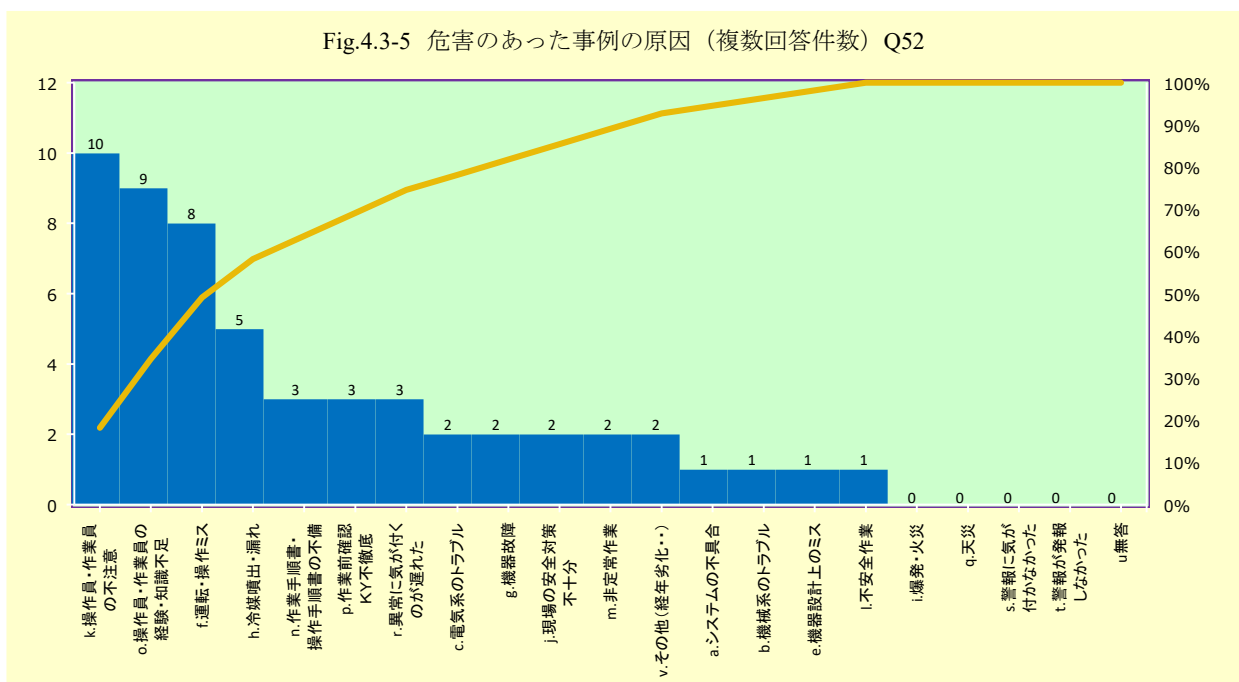
Fig.4.3-5 をさらに分析した結果を Table 4.3-1 に示す。同表は，事例の生じた原因を，機器類に起因すると考えられる Fig.4.3-5 の項目 a,b,c,d,e,g,h,i,q,v と現場作業に起因する

ヒューマンエラーと考えられる項目 (f,j,k,l,m,n,o,p,r) に分け，さらに所属別に示している。

いずれの所属でも現場作業に起因した事例が機器類に起因する事例を上回り，特に民間企業ではその傾向が強いことが明らかとなった。

これらの結果から，作業者が危険に遭遇，あるいは危険を作っていると考えられる。しかしその原因は，背後にある安全教育，安全文化，作業環境（安全対策）に問題がある可能性も示唆している。

Q1 \ Q52	機器に起因	現場作業に起因	計(件数)
大学等教育機関	9	18	27
公的研究機関	4	5	9
民間企業	1	17	18
他	0	1	1
計	14	41	55



・安全が不十分と思われる機器類

具体的に安全が不十分と思われる機器類とその理由を伺った。記述された内容をそのまま示す (Table 4.3-2)。

・機器類の安全向上対策 (機器側)

具体的に安全が不十分と思われる機器類について機器側に希望する対策を伺った結果をそのまま Table 4.3-3 に示す。

・機器類の安全向上対策 (現場)

機器類の安全を向上するために現場での有効と考える対策を伺った。ユーザーの立場の回答者が多いため具体的な意見が多く寄せられた。記述内容をそのまま Table 3.3-4 に示す。

Table 4.3-2 機器と安全

機器	あなたが関係している(使っている、いた)超電導・極低温機器を安全が不十分と思われる順に並べ、理由を教えてください。 Q45
超電導 M+冷凍機, 超電導 M	安全弁の出口がスタック(煙突)まで配管されているため、吹き止まらない時のチェックができない。
超電導 M+冷凍機	超電導マグネット
超電導マグネット+冷凍機, 液化機	1. 磁性体吸引(超電導磁石) 2. 超電導マグネットのクエンチ
小型冷凍機, 超電導 M, 超電導 M+冷凍機	超伝導マグネット: ユーザーの中に「強磁場が危険」という意識が欠けている場合がある。また、マグネットの電源部は露出している場合もある。特に、複雑な実験を要求するユーザーがこの辺りの危険性を理解していない。
超電導 M+冷凍機	液体ヘリウム冷却のマグネット(クエンチ、凍傷の危険)
超電導送電ケーブル+冷凍機	故障時の冷媒温度上昇(内圧上昇⇒冷媒をシステム外に放出⇒周辺環境への影響)
超電導 M, 超電導 M+冷凍機	1. 超電導機器+冷凍機、 2. 超電導機器 1は冷凍機の気密性の低下等により、超電導機器(NMR マグネット)にクエンチの危険性が上がる
超電導 M+冷凍機	クエンチ対策
液化機, 超電導 M+冷凍機	液体窒素 CE や液体水素、液体ヘリウムのトランスファーラインの真空断熱層の劣化。屋外に設置されることが多く、シールオフバルブのゴムの劣化によって真空断熱が劣化する場合が多い。不具合が目立ってからしか対処されていない現状がある。
液化機	突発停電に備えたフェイルセーフの確保、および、その後の設備再稼働に向けた点検チェックリストを用意することならびに設備再起動手順を明示すること。
液化機	圧縮機回転部分
小型冷凍機	圧縮機, 超電導磁石

Table 4.3-3 機器類と安全

機器	前問の機器の安全を向上させるには 機器側 でどのような対策が必要と考えますか。 Q46
超電導 M+冷凍機, 超電導 M	安全弁出口側のガスの流れを何らかの方法で検出できるようにする。
超電導 M+冷凍機	漏洩磁場に対する対策
超電導 M+冷凍機, 液化機	1. ユーザーへの注意喚起(マニュアル記載) 2. クエンチし難い超電導マグネット、およびクエンチ時の安全なガス放出機構
小型冷凍機, 超電導 M, 超電導 M+冷凍機	電源部の露出部は、絶縁処理を施せば良い。強磁場の危険性は、マグネットに囲いを作れば良いが、装置によって対策は異なると思われる。
超電導 M+冷凍機	なかなか難しいと理解しています
超電導送電ケーブル+冷凍機	機器を停止させない設計(信頼性向上に加え、冗長度をあげる)
超電導 M, 超電導 M+冷凍機	NMR マグネット内で閉塞が起こらないように気密性をあげる(若しくは精製できるようにする?)
超電導 M+冷凍機	複数のセンサと安全装置の設置、状況の視認しやすいデザイン
液化機, 超電導 M+冷凍機	圧力監視の簡便な方法の開発やメンテナンス周期の明示と実施。
液化機, 大型冷凍機, コールドコンプレッサー	フェイルセーフ
液化機	回転部の保護カバー
液化機	分かりやすいマニュアル
小型冷凍機	リモートで高圧ガス緊急放出できるボタンの設置
小型冷凍機	安全弁の他に、ラプチャーディスクを装着する。
スキッド磁束計	非常時の電源の確保が必要になる。(電力会社からの送電がストップした時など)
超電導薄膜+冷凍機	熱と静電気対策

Table 4.3-4 機器類と安全

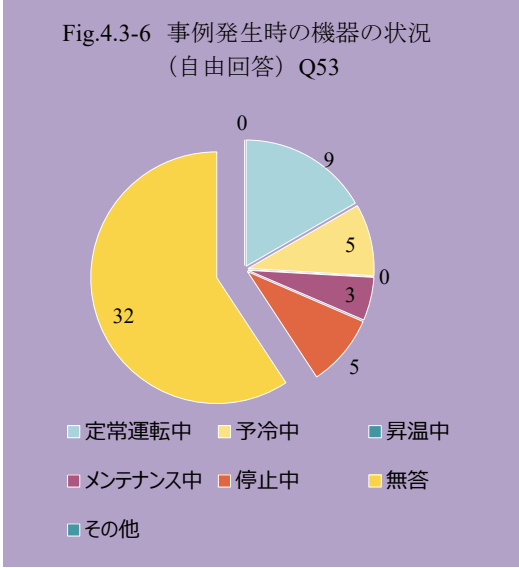
機器	安全を向上させるために、使用している現場ではどのような対策が有効だとお考えですか。Q47
超電導 M+冷凍機, 超電導 M	安全弁作動時には怪しい安全弁の元弁を一旦閉める。可能ならば出口配管を外して元弁を開けて吹きどまっていることを確認する。
超電導 M+冷凍機	教育
超電導 M, 超電導 M	仕様通りに架装
超電導 M+冷凍機	トラブル発生時の電力系統からの確実な自動遮断のための多重(検出・動作原理が異なる)保護装置設置
超電導 M+冷凍機	磁気シールド
超電導 M+冷凍機, 液化機	1. ユーザーへの注意喚起(マニュアル記載) 2. クエンチし難い超電導マグネット、およびクエンチ時の安全なガス放出機構
小型冷凍機, 超電導 M, 超電導 M+冷凍機	事前の安全教育が最も有効である。
超電導 M+冷凍機	大学では、毎年入れ替わり多くの学生が携わるため、企業のように全員に運転操作等を徹底するのは現実的には容易でない。A3 一枚くらいのマニュアルを準備していただくとありがたい。
超電導送電ケーブル+冷凍機	故障診断のうえ冗長システムへ切り替える
超電導 M, 液化機	操作員が機器の原理、構造、性能をよく理解すること
超電導 M, 超電導 M+冷凍機	常にトラブルが起こると考えながら、装置に向き合う(例えば、NMR 室ではいつクエンチしてもいいように、扉の開放・避難経路の確認)
超電導 M+冷凍機	多重チェック
液化機, 超電導 M+冷凍機	可能な限り頻繁に真空度をチェックすること。
液化機, 大型冷凍機, コールドコンプレッサー	自主保安
液化機	直接監視削減
液化機	システムの動作原理の理解の徹底
液化機, 運搬容器・極低温配管	無停電電源の設置
液化機	オペレーターへの安全意識涵養と安全教育
小型冷凍機	左記の高圧ガス緊急放出ボタンを常に作業者の手元に置く
小型冷凍機	現場操作者・運転者への定期的な安全教育
スキッド磁束計	関係者以外の立ち入りを禁止する。
超電導薄膜+冷凍機	静電気の放電作業
浮上実験デモ	教育
励磁電源装置	警告表示, 防護設備

・事例発生時の機器類の運転状況

事例発生時の状況をうかがった (Fig.4.3-6) . 回答があった 22 件中 9 件が定常運転中に発生している。また、停止中にも事例が発生したとの回答があり、機器停止中であっても機器が課電中であつたり関連設備が運転したりしているなどで、何らかの危険が生じている状況があることを示している。

メンテナンス中の事例は 3 件と少ないが、メンテナンス中は定常運転中と異なる作業 (非正常作業) が増え、また組織外からの作業者も多くなることから、安全に関する認識が高まっているとも考えられる。

前々問 (Q51) において半数以上が「なかった」、「無答」と回答しているため、本問においても半数以上が無答である。



・運転中およびメンテナンス中の安全監視方法

安全監視方法に関しては運転中もメンテナンス中とも同様な方法で行われているという結果であった (Fig.4.3-7, Fig.4.3-8)。「特になし」を除いた回答数は、運転中が138件、メンテナンス中が117件と、回答者54名に対して夫々2.6倍、2.2倍であり、複数の方法を組み合わせて安全監視を行っていることがわかる。

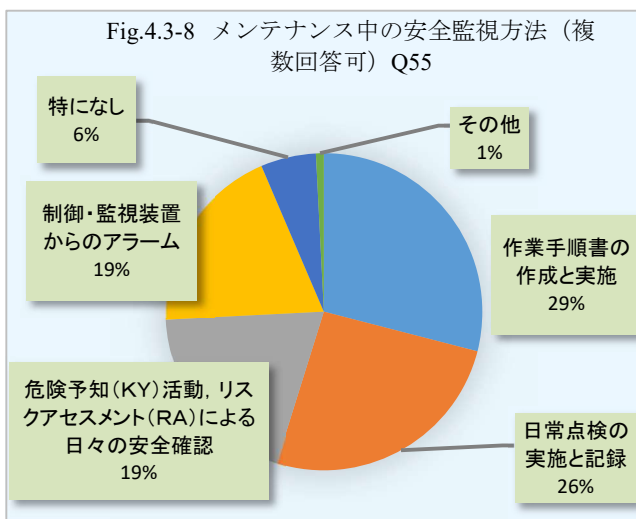
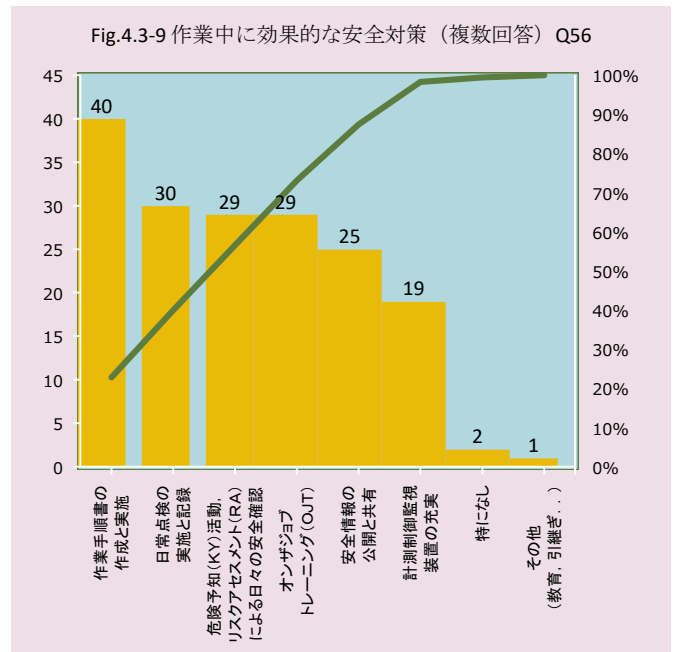
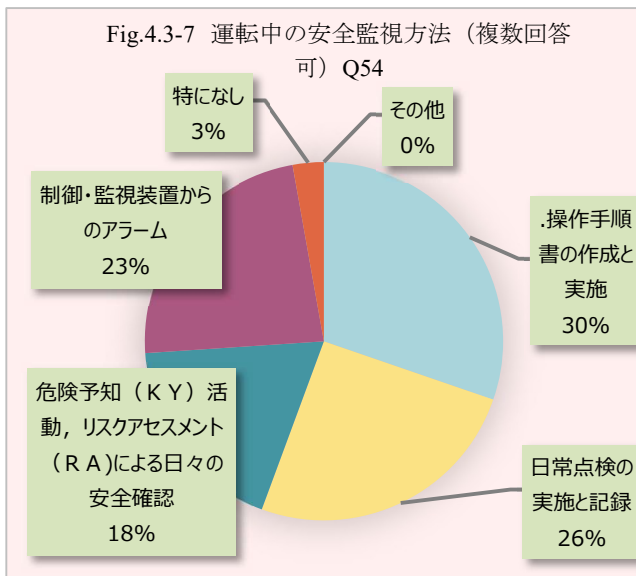
前問(Q53)でも指摘したように、メンテナンス中は通常と異なる作業が行われるが、作業の内容が異なることから具体的内容についても伺う必要があると思われる。

「特になし」との回答が運転中で3%(4件)メンテナンス中で6%(7件)あった。

・作業中の効果的な安全対策

作業中の効果的な安全対策についての回答を Fig.4.3-9 に示す。Q54, 55 で回答の多かった「作業手順書の作成と実施」「日常点検の実施と記録」「KY, RA」「OJT」を効果的であるとしており、これら4項目で全体の回答数の70%を超えている。これらが効果的な方法と認識されていることがうかがえる。

Q52において危害のあった事例として「操作員・作業員の不注意」「操作員・作業員の経験・知識不足」「運転・操作ミス」が多く挙げられており、安全対策が効果を上げていないようにも思える。

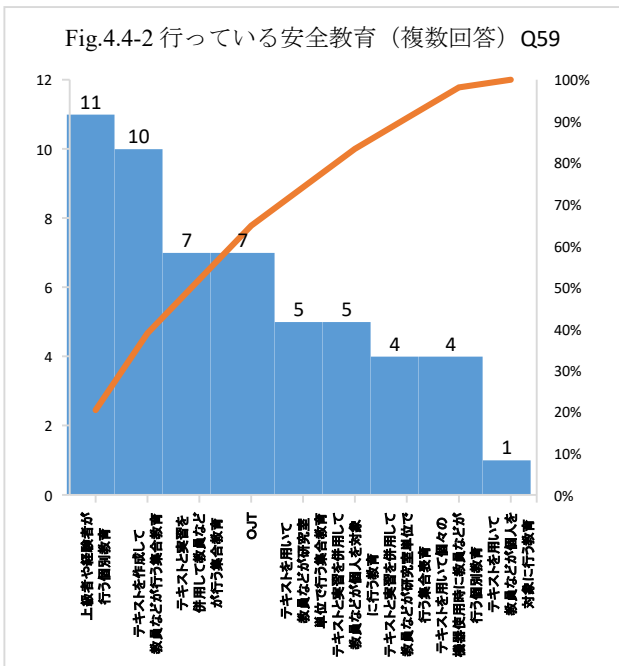
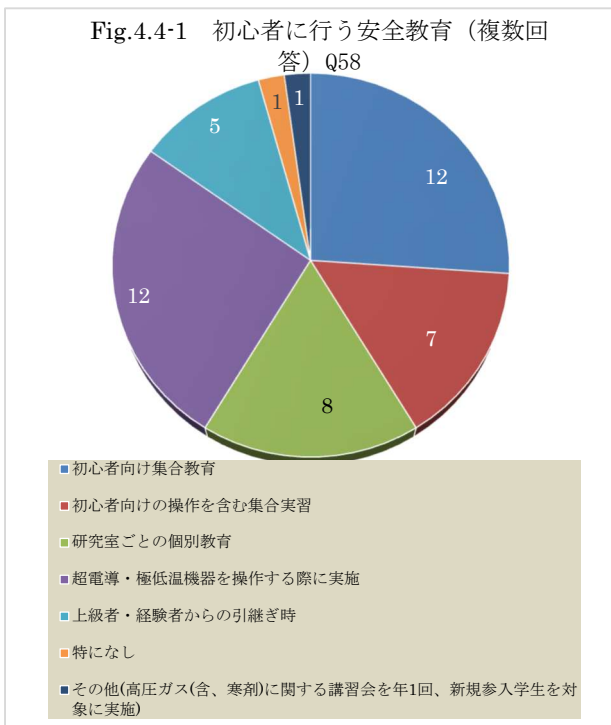


4.4 安全教育

本節は、安全を担当すると回答された方（19名）へのアンケート結果を示す。

・安全教育実施方法

初心者に対する安全教育の実施については、所属する組織により事情が異なるためか回答は分散した。しかし、「特になし」の1件を除いて18名の方から45件の回答をいただいております、平均して2から3つの安全教育を組み合わせて初心者教育を行っていることがわかる（Fig.4.4-1）。

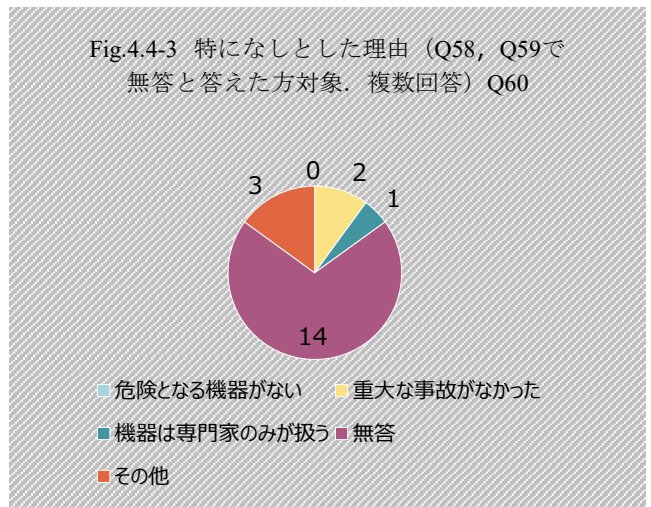


・具体的な安全教育方法

具体的にどのような安全教育を行っているのかの質問に対して、テキストを用いる教育が多く、集合教育や個別教育などを組み合わせて行うことが多いとの回答であった（Fig.4.4-2）。

・安全教育を行っていない理由

特に安全教育を行っていない方にその理由を尋ねたところ、質問の対象者は「特になし」と回答された方は1名だったが、19名（安全教育を担当すると回答のあった全員）の方が回答している。設問が不適切であったためと考えているが、参考までに記す（Fig.4.4-3）



・テキストの公開および転載の可否

テキストあり、と回答された方に、そのテキストを公開しているか聞いたところ、公開はされていないという回答が多かった（Fig.4.4-4）。環境・安全委員会で作成している安全テキストへの転載の可否を聞いたところ、外部への公開は想定していないため難しいようである（Fig.4.4-5）。

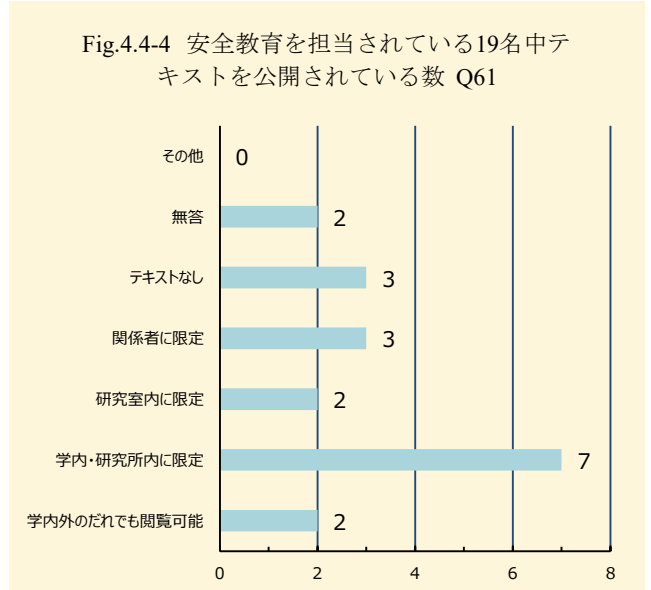
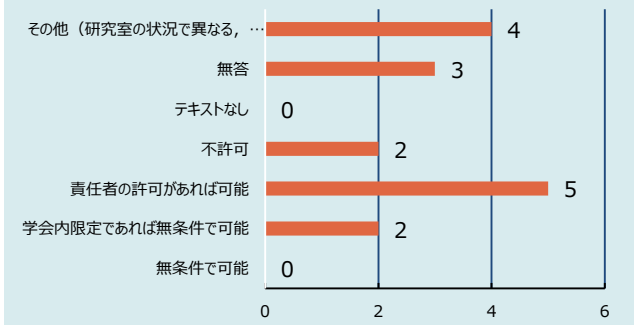


Fig.4.4-5 環境・安全委員会へのテキスト転載の可否 Q62



4.5 共通設問

本節はすべて回答者の記述項目である。記述いただいたすべてをそのまま **Table 4.5-1~4** に示す。

メーカー、業界団体あるいは学会から、安全や信頼性に関しどのような情報の提供を希望するかの問いに対して、事故事例（ヒヤリハット含む）を上げる方が多く、情報共有の必要性が感じられる（Table 4.5-1）。

・機器類取り扱い上、必要と考える資格

超電導機器・極低温機器を扱う上で必要と考えている資格、あるいは作ったほうが良いと考える資格の問いには、回答者の 28 人(52%)が記述。内、10 人は特になしと回答し

ている。従って、新たな資格が必要と考える方は 18 人(33%)であった（Table 4.5-2）。

必要な資格として多様な意見が寄せられたが、低温・電磁気などの知識と、機器取扱の要望が多い。国家資格を組み合わせて取得するとの回答もあった。資格が強制力を持つと学生の実験に支障が生じるとの意見もあり、個々の事情にも留意する必要があるようである。

・安全と信頼性に関する意見

信頼性と安全に対するご意見を伺ったところ、27 人の回答者からコメントが寄せられたが、内 3 件は特になしとの回答であり、実質的には 24 人(44%)の方から意見が寄せられた（Table 4.5-3）。

・本ケートに関する感想

これまで同種のアンケートがなかったこともあるが、アンケート結果を公開して次につなげていくことを期待する前向きな意見が多いと感じている（Table 4.5-4）。

Table 4.5-1 情報提供

メーカー、業界団体あるいは学会から信頼性と安全に関してどのような情報が提供されることが望ましいでしょうか Q63
原因分析と対策が適切に記述されている事故事例の紹介。
事故事例
これまでの危なかった事例の紹介
ヒヤリハットも含めた災害事例
基準、規格
装置の仕様、取説
必要に応じて参照できるさまざまなトラブル事例
事故・災害事例、ヒヤリハット事例
事例
事故等の事例
特になし
極低温・超電導関連機器に関する事故・ヒヤリハット情報
安全に関する事例集のようなものを、学会の WebPage に掲載すべきである。必要な時に参考できるようにしたい。新人教育にも使える。
事故事例、安全ガイドライン(磁場、低温、装置設置条件、安全機構例等)
どのような機器の点検をどのくらいの間隔で行うことを推奨するかという情報。機器の故障の実例情報。
事故事例があると、安全教育がしやすいです。
起こりやすい事故事例と対策や予防法の紹介
故障モードとそれらに対する影響、その後の対処方法が整理されていること
引き続き環境・安全委員会などの活動を継続して頂けるとよいとおもいます。
安全テキストの編纂、紹介 事故事例や改善事例の紹介
ユーザーの経験、ヒヤリハット
機器の取り扱いの研修があると良い。
信頼性の低い箇所・起きた事象・その対応策の公開
発生したトラブルの内容・対処などの情報提供
事例と対策
バージョンアップを行った場合の内容とその考え方及び情報の提供
故障、事故のケーススタディ。
適切なメンテナンス周期やメンテナンス方法の明示とその解説

Table 4.5-2 必要と考える資格

あなたが超電導機器・極低温機器を扱う上で必要と考えている資格,あるいは作ったほうが良いと考える資格はありますか Q64
ヘリウムが高額となり、回収率は非常に重要となっている。資格とまではいかないが、気密性が確認されたクライオスタットの準備、寒剤の扱い・トランスファーチューブによる寒剤の移送、等寒剤を使った極低温実験の特別教育用の教材。
特になし
なし
磁場に対する安全指針
高圧ガス取扱資格
特になし
特になし(現行の各種資格で対応)
高圧ガス製造保安責任者の資格(私はこの資格を持っていませんが、極低温機器を扱う人は、この資格を有するべきである。)
公的な資格でなくていいが、それぞれの組織内の取り扱い免許証
高圧ガス製造保安責任者
極低温冷媒を取り扱う資格
特になし
超電導・低温機器の取扱いの資格
低温、真空、酸欠、高圧、感電などを含めた総合的な資格は必要であると思う。名付けて「低温超電導機器技能者」資格というようなネーミングなど。
極低温冷媒の取り扱い(高圧ガス保安責任者ではなく、実務指導ができる資格)
高圧ガス製造保安や冷凍設備の保安に関して理解していることを証明する資格
資格が必要となると学生の実験に支障が出るため、無い方が良いです。
特にありません。
国家資格+(冷媒、作動ガス、真空技術)を理解していることを証明する資格
強力磁場の取扱などはあってもよい?
低温液化ガス取り扱い講習会修了資格
高電圧/大電流電気機器取り扱い講習会修了資格
必要:圧力系、電気系、危険物系、作業系、検査系
機器それぞれの取扱いの研修を修了したという資格があると良い。
なし
なし
高圧ガス製造保安責任者・危険物取扱者・第1種圧力容器作業主任者・第1種衛生管理者・酸素欠乏作業主任者・上級救命講習・第2種電気工事士
とくになし。
無

Table 4.5-3 信頼性と安全に関する意見

信頼性と安全に対するご意見を伺わせてください。 Q65
ユーザーもメーカーも購入後の意見交換を積極的にすることで、信頼性の高い次の製品に結び付くと思う。
特になし
特になし
基準規格を本格的に制定しなければならない時期に来ている。
取扱装置に対する十分な知識
信頼性と安全に対する意見として、信頼性よりも、先ずは安全第一と考えます。その意味で、個人的な見解ですが「安全と信頼性」と表記するのがよろしいかと存じます。一般的に人々は複数のものを列記すれば、最初に出るものを優先しがちと思います。
より一層の安全教育が必要です。セフティーリテラシーでしょうか。
安全、機器の信頼性などに関するマイナス情報の共有やそれらを活用した教育・訓練の実施は、関係者・関係機関の安全や品質の向上に大きく寄与し、延いては超伝導機器・極低温機器に対する信頼向上につながると考える。
どちらも重要である。車の両輪である。
極めて大切な問題でありながら、系統立てて教育等を受ける機会が少ないテーマと思います。学会が中心となってセミナーなどを今後とも企画いただきたいです。
特になし
一部を除き超電導や極低温機器の運転は研究所レベルであるが、将来はインフラ設備への応用が期待される。電力・鉄道などにふさわしい運転資格の創設やテキスト作成。
低温工学・超電導学会が主導で、上記の「低温超電導機器技能者」資格制度の創設をお願いしたい。
MRI では医療機器関連工業会が安全確保のガイドラインを作成している。MRI に含まれない超電導・低温機器についても、工業会あるいは学会が率先してガイドラインを作成・提示することが必要。それによって、メーカーおよびユーザーともに共通の安全確保への認識を持つことができる。
ガスのリークなど些細と思われることにも徹底した対応をとる。前回の運転で少しおかしいと思ったことを徹底して調査し、原因を解明する。
どんな仕事でも、慣れてくると事故が起こります。ベテランの研究者にはこのことを理解してほしいと思います。また、「低温」に関してのテキストが少ないため、専門家の方に基礎的知識をまとめた本を書きいただけるとありがたいです。
既製品(カタログ商品)を扱う範囲では信頼性や安全性に関する意見はありません。
・信頼性については機器メーカーにお願いすることになる。この際メーカー間で共通のパラメータがあるとよい ・高圧ガス保安法に従い設計されていれば安全なのか？ (法と極低温冷却機器の安全性に対する考え方はおなじか？)
とにかく安全第一
安全は安全装置の拡充(ハード)と弛まぬ安全教育(ソフト)が両輪 信頼性の確立は MTBF や MTTR 情報開示が必須
いずれも 100%はなく、高い水準をキープするためにはたゆまぬ努力が必要 ただ無限にはできないので、やはりある種の基準を設けることが重要 技術や安全文化の伝承や共有が今後の課題
NMR マグネット用の液体ヘリウム蒸発防止装置について いくつかのメーカーがあるが、成熟していないように感じている。 今後は必須になる現場もあると思うので、 信頼できる製品やメーカー対応が早期に確立されることを期待します。
過去の危険だったことがらを報告する場があると良い。
機器・ヘリウム代が高騰しており、学生が使用する頻度が減少し、熟練度・経験値が上昇しない。安全に運転できている時と、異常がある時の差に気が付けなくなっている。
信頼性と安全はどちらも甲乙つけがたい対象である。故に信頼性を上げるために安全を蔑ろにするという考え方には賛同できない
ユーザーやメーカーなどで公表されている事例紹介はとても役立つ。しかし知る人ぞ知る情報となっており業界全体で共有・継承されているとは言い難い。そこでこのような情報をまとめた書籍があれば安全に寄与すると思われる。
ヨーロッパやアメリカと比べて安全の観点から行われる研究が少ないと感じる。大型プロジェクトに連動して、個別の安全対策を研究活動へと振り向ける必要があるのではないかと感じる。PICARD (Pressure Increase in Cryostats and Analysis of Safety Relief Device) のような取り組みがあっても良いと思う。

Table 4.5-4 アンケートに対するご意見

このアンケートに関する要望があればお聞かせください。 Q66
お疲れ様です。
特になし
現時点ではありません。
なし
取り纏めよろしくお願います。集約結果のご紹介を楽しみにしております。
特になし
このようなアンケートを継続的に実施し、業界における安全意識の向上につなげてほしい
回答者が、メーカーかユーザーかで、設問を変えた方がよさそうです(全問回答してみて、改めて感じました)
このアンケートが、低温に関する安全知識の向上への動きに繋がってくれることを期待しています。
特にありません
ご企画いただき、ありがとうございました。
現在の職場(転職後)か過去の職場(転職前)のどちらについて回答すれば良いか迷う設問があった。
大変な作業かと存じますがアウトプットに期待しております。
このようなアンケートを定期的に行い安全の確保に役立ててほしい。
なし
回答者に結果を共有してほしい
アンケートの実施に感謝いたします
信頼性や安全に関する活動に感謝申し上げます。

5. アンケートから見えてきた課題

5.1 結果まとめ

- 回答者
 - ・回答者 54 名中、所属は大学等教育関係者が半数以上を占め、また、ユーザーとしての立場からの回答者が 70%であった。
- 信頼性
 - ・機器類の使用実態は多岐にわたるものの、信頼性に問題なしとの回答が機器類 73 台中 66%を占めた。
 - ・機器側だけでなく現場の対応も信頼性向上に必要であることが広く認識されている。
- 安全
 - ・機器類を扱う際に危ないと感じた回答者は 42 名 (78%)、実際に危害が生じたという回答は 22 名 (41%)であった。原因として、現場作業に起因するとの回答が全回答 55 件中 41 件 (75%)を占めている。
 - ・作業中に実施している安全対策は「作業手順書の作成と実施」「日常店家」「KY, RA」などの対策を上げている方が多く、作業中に効果的な安全対策でも同様の回答が多い。しかし、実際の危害事例を見ると「不注意」などの現場作業での人為的要因が回答の半数以上を占めている。効果的と考えている安全対策が十分に機能していないように思える。
- 安全教育
 - ・施設ごとに事情に応じたテキストを作成し重層的な教育がなされている。
- 意見・要望
 - ・事故情報の共有に対する希望が多い
 - ・機器類の性能評価（性能・信頼性）、運転・操作に関する何らかの資格、さらに機器運転に必要な知識のテキスト、ガイドラインを望む声がある。
 - ・学会に対しても安全リテラシーの確立や安全に関する研究活動を要望する意見がある。

5.2 課題、要望

共通設問への回答をもとに、現状の安全や信頼性に関する課題や要望を以下にまとめる。

- 課題
 - ・事故等に関する情報が少なく、貴重な知見が共有されない。
 - ・安全や信頼性に関し系統的な教育がない。
 - ・技術や安全文化の継承や共有が必要。
 - ・安全に関する研究が少ない。
- 必要と考える資格
 - ・（知識としての）極低温・超電導機器取扱（低温、真空、電磁気、圧力など）、極低温冷媒取扱。
 - ・（講習会など実習による）極低温冷媒取扱、極低温・超電導機器取扱。
- 安全と信頼性に関する意見

Table 5.1-1 に、Table 3.5-3 に示した意見を 4 つの項目に分類してまとめる。

- (1) 指針・ガイドライン・資格

今回のアンケートでは詳細な内容まで踏み込めていない。学会員に対して、低温工学・超電導工学として必要な知識は何かを問い、最適な方向性を探る必要があると考える。
- (2) テキスト

環境・安全委員会では安全テキスト 2025 を HP 上で公開している。今後は学会員の意見を伺い完成度を上げていくことが必要と考える。他にも必要なテキストの希望についても改めて伺うことも必要である。
- (3) 情報開示・情報共有

事故事例の情報への要望が非常に強く感じる結果であった。まずはアンケートで頂いた情報をもとに情報の開示・共有のためのフォーマットの作成、情報収集方法の検討を進めることが可能と考えている。

Table 5.1-1 意見集約

分類項目	指針・ガイドライン・資格	テキスト	情報開示	安全リテラシー
寄せられた意見	機器の安全確保のためのガイドライン	極低温・超電導に関する基礎知識	機器の MTBF, MTTR (注: 統一した評価のため語句の定義を定める必要あり)	安全に関する研究活動と系統的な教育
	高圧ガス保安法準拠だけで安全が保たれるか (注: 学会独自の指針の必要性を述べていると解釈)	安全や信頼性に関する系統的な教育	事故事例情報の共有と過去の情報の洗い出し	過去の事例を報告する場の提供と安全文化の継承
	トラブルの原因究明のための指針			「注」はWG記述

(4) 安全リテラシー

研究発表会での環境・安全委員会の活動報告を行うとともに、安全研究に対する研究発表を促す必要があると考える。また、毎年夏に実施される安全工学シンポジウム（参加費無料、予稿集有料）への参加を促していきたい。

6. 今後の活動について

アンケート結果の公表は終わりではなく、頂いた課題・提案を、対応方法を含めひとつずつ解決していく端緒としていきたい。

(1) 指針・ガイドライン・資格

前章で記述したように、学会員の指針・ガイドライン・資格の必要性、内容などについて、アンケートなどで意見を伺う必要があると考える。内容的に環境・安全委員会の活動をはみ出す事項もあり、学会理事会等に問題提起をしていきたいと考える。

(2) テキスト

安全テキスト 2025 は 2025 年 12 月に学会 HP 上で公開しており (<https://www.csj.or.jp/committee/environment.html>)、今後とも見直しを進めていく。そのために、学会員から積極的な提案を伺っていくことが必要と考えている。他のテキストの要望は、新たにアンケートを行うなど、具体化の検討を行っていきたい。ただし、環境・安全委員会の活動を超える要望については学会理事会等に上げていく。

(3) 情報開示・共有

前章にも記述した通り、事故情報に関しては、本アンケートをもとに事故情報開示・共有のフォーマットを環境・安全委員会で検討を進めるとともに、開示方法、情報収集方法を検討していく。

なお、超電導用語については IEC/TC90（国際電気標準会議/専門委員会 90（超電導））にて検討を進めておりすでに JIS H 7005:2025（超電導関連用語）などとして公表されている。冷凍機の効率、信頼性についても IEC/TC90/WG12 の国内委員会で検討が継続されるように環境・安全委員会でも支援をしていきたい。

(4) 安全リテラシー

年次大会における委員会活動の積極的な報告を実施するとともに、学会として積極的な安全・信頼性関連の発表ができるように検討を進めていきたい。また、安全工学シンポジウムは、日本学術会議が主催するシンポジウムであり、安全に関する幅広い知識や活動内容が分かる情報発信の場である。参加費は無料であり、近年はリモート参加も可能となっており、学会員への情報共有と積極的なシンポジウム参加を促していく。

7. 参考

7.1 安全と信頼性の用語について

安全と信頼性という用語は、いずれも IEC/JIS で定義された用語である。

● 安全 (safety)

安全とは IEC/JIS では「許容できないリスクから免れている状態」と定義されている (JIS Z 8115(2019)) 以前は「人への危害又は資(機)材の損傷の危険性が、許容可能な水準に抑えられている状態」JIS Z 8115(2000)とされていた。本アンケートでは JIS Z 8115 (2000) の用語を引用しているが本質的に意味の違いはない。いずれも安全の対象が人間に限定されず資(機)材にも及ぶこと、および、危険が許容可能な水準（ゼロではない）に抑えられていることを安全と定義している。

似たような用語で安全性 (safety) がある。英語では同じ単語であるが JIS では独自の定義としてこの 2 つの用語 (Table 7.1-1 参照) を分けている。

● 信頼性 (reliability)

信頼性とは IEC/JIS では「アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力」と定義されている (JIS Z8115(2000))。信頼度 (reliability) とは同様に「与えられた条件の下で、時間区間 (t1, t2) に対して、要求どおりに機能を遂行できる確率」と定義されている。こちらも英語では同じ単語であるが IEC でも番号を分けている (Table 参 1-1)。なお、現在、信頼性を議論するときにはディペンダビリティ (総合安全性 dependability) という用語が用いられる。

本アンケートでは、安全と安全性を共に安全という用語で表現した。信頼度という用語は本アンケートでは定量的な評価を行っていないため使用していない。

Table 7.1-2 にさらに英語と日本語の表現の違いの考察を示す。英語には「安心」を直接表現する英単語はない。安心と安全を結び付けようとして安心=安全×信頼*とした資料もある。安心、信頼という言葉は名詞よりも動詞的に使用することが多いようである。安全と安全性、信頼性と信頼度は英語では各々ひとつの単語で表される。

Table 7.1-1 IEC 60050-192:2015/JIS Z 8115(2019)の言葉の定義

番号	用語	定義	対応英語
192J-103-01	安全	許容できないリスクから免れている状態。 注記 1 品質マネジメントシステムにおいては、アイテムの特性の一つの側面として扱われる。注記 2 一般的にリスクが存在しないことは証明できない。注記 3 附属書 JD 参照	safety
192J-103-02	安全性	リスク源となるアイテム及びリスクを被る実体からなるシステムが、安全を保持し得る性質又は能力。 注記 1 この意味で“安全”が用いられることがある。注記 2 リスク源となるアイテム又はリスクを被る実体の名を冠して、安全性を考慮する範囲を限定することがある。 例) 工作機械の安全性、照明器具の安全性、一次電池の安全性、子ども用衣料の安全性、環境安全性など。	safety
192-01-24	信頼性	アイテムが、与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力。 注記 1 持続時間間隔は、例えば暦時間、動作サイクル、走行距離などのような、当該アイテムに適切な単位で表現されてもよく、かつ、当該単位は常に明確に記載することが望ましい。注記 2 与えられた条件には、動作モード、ストレス水準、環境条件及び保全のような、信頼性に影響する側面が含まれる。注記 3 一般的には、使用期間の始点で、要求機能が遂行できる状態にあることを仮定する。注記 4 信頼性は分類 e)192-05 (信頼性性能)の尺度で定量化し得る。注記 5 ソフトウェアアイテムの場合、信頼性は系の運用経過時間中に発生する故障要因の修正及び変更で改善が進み、一般的には、信頼度は経過時間とともに向上していく【信頼性成長 (192-12-03) 参照】。注記 6 ソフトウェア信頼性は、特定条件下で使用するときのある性能を維持する能力を指す場合がある。	reliability
192-05-05	信頼度	与えられた条件の下で、時間区間 (t1, t2) に対して、要求どおりに機能を遂行できる確率。 注記 1 与えられた条件とは、適用される運用モード、ストレス水準、環境条件及び保全条件のような、信頼性に影響を与える側面を含む。注記 2 尺度としての信頼度は、数学記号 R (t1, t2) で表す。注記 3 一般に、アイテムは、時間区間の始点では、要求どおりに機能を遂行できる状態にあると仮定する。注記 4 t1 = 0, t2 = t のとき、信頼度 R(t1, t2) = R(0, t) は、単に R(t) と表し、アイテムの信頼度関数又は生存関数として定義される。詳細は、“信頼度関数” (192J-13-123) 参照。注記 5 “信頼性” (192-01-24) 参照。	reliability
192-01-22	ディペンダビリティ, 総合信頼性	アイテムが、要求されたときに、その要求どおりに遂行するための能力。 注記 1 ディペンダビリティすなわち総合信頼性は、“アベイラビリティ” (192-01-23)、“信頼性” (192-01-24)、“回復性” (192-01-25)、“保全性” (192-01-27) 及び“保全支援性能” (192-01-29) を含む。適用によっては、“耐久性” (192-01-21) 、“安全性及びセキュリティのような他の特性を含むことがある。注記 2 ディペンダビリティは、アイテムの時間に関係する品質特性に対する、包括的な用語として用いられる。注記 3 ディペンダビリティを阻害する要因は故障、エラー、フォールトなどである。注記 4 ディペンダビリティを実現する手段には、フォールトプリベンション、フォールトトランス、フォールトリミューバル及びフォールトフォアキャストリングがある。注記 5 この用語は、ソフトウェア自体ではなく、ソフトウェアを含むシステム又は製品に適用する。ソフトウェアではシステムの要素からなる製品又はサブシステムのディペンダビリティのソフトウェア的側面として扱われる。注記 6 附属書 JC 及び附属書 JF 参照。	dependability

参考：JIS Z 8115(2019)

注：番号中の J は JIS 独自規格。

Table 7.1-2 安全と信頼に関する用語の違い

安全に関する用語	安全	安全性	安心 (する)
	safety		feel at ease / feel relieved
	客観的かつ定性的指標		主観的 安心 = 安全 × 信頼*
信頼に関する用語	信頼性	信頼度	信頼 (する)
	reliability		trust / believe
	客観的指標	定量的指標	主観的

*工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会：「工学システムに対する安心感と社会」、日本各術会議 総合工学委員会・機械工学委員会報告書、(2020) , p2

7.2 アンケート項目（詳細）

質問の項目を以下に示す。本文中、質問番号はQ**で表示している。

選択式の項目は質問内容の欄に「選」で示し、記述式の項目は同じく「記」で、選択式だが「その他」として記述項目を設けた項目は「記」で示す。

質問番号	質問内容
1	あなたの所属は以下のどちらですか(学生の方は、大学等研究機関を選んでください)。(必須) 選
2	超電導機器・極低温機器及びその関連機器(以下、超電導・極低温機器)に関して、あなたの職業上の立場はどれですか。学生の方は、その他に「学生」とご記入ください。(必須) 選
3	あなたは主にどのような仕事に従事していますか(必須) 選
4	その仕事に従事してどのくらいですか(必須) 選
5	あなたが超電導・極低温機器を扱う頻度を教えてください。(必須) 選
6	あなたは超電導・極低温機器あるいは安全に関連して何か資格を持っていますか(必須、複数回答可) 選

注: Q8~Q18 は最大 3 回繰り返し(Q20~30, Q32~42)

7	信頼性とは IEC/JIS では「アイテムが与えられた条件の下で、与えられた期間、故障せずに、要求どおりに遂行できる能力」と定義されています。この定義をご了解の上でお答えください。(必須) 選 注: 定義を了解下で次問にすすむ。
8	あなたが関係している(使っている・いた)超電導・極低温機器は何ですか。下記より1点選択してお答えください。(必須) 複数機器に関係している場合は機器ごとに繰り返しアンケートにお答えください。[3点まで] 選
9	前問で選択した機器(以下当該機器)の信頼性に関して重視する項目は何ですか(必須、複数回答可) 選
10	差し支えなければ当該機器の、1. 累積運転時間、2. 年間最大連続運転時間、3. 年間運転回数を教えてください。 記

11	当該機器について信頼性が問題(低い)と感じたことはありますか(必須) 選
12	差し支えなければ、当該機器で信頼性が問題(低い)と感じる部分とその理由を、重要と感じられる順に番号(1.2.…)をつけて教えてください。特にない場合は「なし」と記述下さい。 記 回答例: 1.自動弁が閉信号でもバルブが締まりきらずガスが漏れる。2.フロートスイッチの感度が不安定で頻繁に警報を発報する。など
13	当該機器で信頼性が問題(低い)と感じる機器・部分の信頼性を向上させるには、機器側(メーカー)でどのような対策が必要と考えますか。差し支えなければ、その対策を重要と感じられる順に番号(1.2.…)をつけて教えてください。特にない場合は「なし」と記述ください。 記
14	当該機器で信頼性が問題(低い)と感じる機器・部分の信頼性を向上させるには、現場(ユーザー)でどのような対策が必要と考えますか。差し支えなければ、その対策を重要と感じられる順に番号(1.2.…)をつけて教えてください。特にない場合は「なし」と記述ください。 記
15	差し支えなければ具体的な事象について教えてください(複数回答可) 選
16	当該機器がトラブルで停止するような事態に陥ったときどのように対処されたか、差し支えなければ教えてください(複数回答可) 選
17	当該機器のメンテナンスは通常どの程度ですか(必須) 選
18	メンテナンスで行っていることはどのようなことですか。点検・確認には、その結果として修理・交換することも含みます。運転時間などで交換することが決まっている機器・消耗品等あればその他に記述してください。(必須、複数回答可) 選
43	信頼性評価指標として、思い浮かぶものは何ですか。各用語の定義は JIS Z 8115 ディペンダビリティをご参照ください。(必須、複数回答可) 選

安全	44	安全とは IEC/JIS では「人への危害又は資(機)材の損傷の危険性が、許容可能な水準に抑えられている状態」と定義されています。安全の概念が機器も含んでいること、さらに、危険性がゼロではなく許容可能な水準に抑えられていることを安全と定義していることにご留意ください。(必須) <input checked="" type="checkbox"/> 注:「了承した」にチェックすることで次問に進む。
	45	差し支えなければ、あなたが関係している(使っている、いた)超電導・極低温機器を安全が不十分と思われる順に並べ、理由を教えてください。なしの場合は「なし」と記入ください。 <input checked="" type="checkbox"/>
	46	前問の機器の安全を向上させるには機器側でどのような対策が必要と考えますか。差し支えなければ教えてください。特になければ「なし」と記入下さい。 <input checked="" type="checkbox"/> 回答例: 緊急停止ボタンを機側のわかりやすい場所に設置する
	47	安全を向上させるために、使用している現場ではどのような対策が有効だとお考えですか。なければ「なし」とお答えください。 <input checked="" type="checkbox"/>
	48	あなたが安全に対して重視する事象・事項は何ですか(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	49	あなたが超電導・極低温機器を扱う際に、「(人間や機器に)危ない」と感じたことはありましたか(必須)。 <input checked="" type="checkbox"/>
	50	あなたが「危ない」と感じた場合、その理由を教えてください。(複数回答可, 必須) <input checked="" type="checkbox"/>
	51	人間や機器に危害があった事例はありましたか。差し支えない範囲で結構です。 <input checked="" type="checkbox"/>
	52	前問の事例があった原因は何ですか。差し支えない範囲で結構です。(複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	53	事例が発生した時の機器の運転状況について差し支えない範囲で教えてください。 <input checked="" type="checkbox"/>
	54	超電導・極低温機器運転中の安全監視方法について実施されていることは何ですか(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	55	超電導・極低温機器メンテナンス中の安全監視方法について実施されていることは何ですか(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	56	作業中の、機器も含んだ安全対策について効果的な方法はどれだと考えますか(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>

Q58～Q62 は教育担当者のみ

安全 教育	58	新入生などの初心者にとどのように安全教育を行っていますか。(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	59	具体的にどのような安全教育を行っていますか。前問で「特になし」を回答された方はここでも「特になし」を選択してください。(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	60	前問, 前々問で特になしと回答された方にお聞きします。差し支えなければ理由をお聞かせください。(必須, 複数回答可) <input checked="" type="checkbox"/>
	61	テキスト有と回答された方にお尋ねします。テキストは公開されているのでしょうか。テキストがない場合、ご面倒ですが、あらためて「テキストなし」を選択してください。(必須) <input checked="" type="checkbox"/>
	62	テキスト公開されている方にお聞きします。出典明記の上、環境・安全委員会で作成している安全テキストへの転載は可能でしょうか。テキストがない場合、ご面倒ですが、あらためて「テキストなし」を選択してください。(必須) <input checked="" type="checkbox"/>

Q63～Q66 は全回答者対象

共通 設問	63	メーカー、業界団体あるいは学会から信頼性と安全に関してどのような情報が提供されることが望ましいでしょうか。 <input checked="" type="checkbox"/>
	64	あなたが超電導機器・極低温機器を扱う上で必要と考えている資格、あるいは作ったほうが良いと考える資格はありますか。 <input checked="" type="checkbox"/>
	65	信頼性と安全に対するご意見を伺わせてください。 <input checked="" type="checkbox"/>
	66	最後に、このアンケートに関する要望があればお聞かせください。 <input checked="" type="checkbox"/>



アンケートにご協力頂いた
皆様に感謝いたします。
