

超電導・低温機器の 安全と信頼性のアンケート実施 結果報告

2026年2月

環境・安全委員会 アンケートWG

淵野	修一郎	東大	WG委員長
鷺山	玲子	東大	
平井	寛一	大陽日酸	
榎田	康博	KEK	
三戸	利行	NIFS	
池内	正充	前川	
伊藤	聡	JASTEC	環境・安全委員会委員長

(順不同)

目次

1. アンケートWGについて
2. アンケート内容
3. アンケート結果
4. アンケートから見えてきた課題
5. 今後の活動について
6. 参考

1. アンケートWGについて

目的：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（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。

設置：委員会規程第25条（右上参照）に基づき、委員長に淵野氏（東大）を選出してアンケートWGを設置した。メンバーはユーザー側、メーカー側それぞれ3名で構成する（右下参照）。

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）

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

1. アンケートWGについて（活動）

2023/ 5/31 委員会規程第25条(右上)によりWG設置(メンバー右下参照)

8/24 アンケートの目的確認. アンケートの概要検討.

11/13 アンケート原案作成.

12/ 4 アンケートWG活動公開*)

2024/ 2/ 9 試用アンケート作成 (FORMS) .

4/26 結果から課題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/ 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

2. アンケート内容（作成方針）

○対象となる機器類

超電導機器，極低温冷凍機/液化機及びそれらの付属機器

➤対象者

メーカー，ユーザーの区別なくアンケート対象者とする

➤回答者の属性

回答者の経験値との関連を知るために伺う

➤安全

現状の機器類や施設の安全対策と不足点（メーカー，ユーザーそれぞれの視点，立場で）

➤信頼性

現状の機器類の信頼度と不足点（メーカー，ユーザーそれぞれの視点，立場で）

➤現場での安全教育

安全テキストの参考として

➤学会等への要望

学会（環境・安全委員会）などでできることはなにか

2. アンケート内容（項目）

- (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

注：質問は選択式と記述式の2種類．各質問内容は6.参考に記載する．

3. 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

以降にアンケート結果を示す。3.2節から3.5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（表3.3-1のみ選択式質問の結果を表で示す）。

3.1 回答者の特徴 1

□ アンケート結果から回答者の特徴を分析した（表3.1-1）．赤枠：回答が多い項目．詳細は次ページ以降に示す．

表3.1-1 扱っている機器類73台のなかのアンケート回答者54名の傾向

Q8, 20, 32	あなたが関係している機器は何ですか	あなたの所属は以下のどちらですか.				超電導機器・極低温機器及びその関連機器に関して、あなたの職業上の立場はどれですか.			あなたは主にどのような仕事に従事していますか							その仕事に従事してどのくらいですか.				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.				
	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	
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	19	1	1	3	0	0	1	0	1	8	16	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	1	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	1	0	0	1	0	0	0	
NMR/MRI	2	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	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	49	8	2	10	1	1	2	1	4	12	56	15	25	12	12	9	

3.1 回答者の特徴 2

- 回答者54名中，半数以上が大学関係者であり，民間企業の回答者は33%であった（図3.1-1）。
- 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（表3.1-2）。

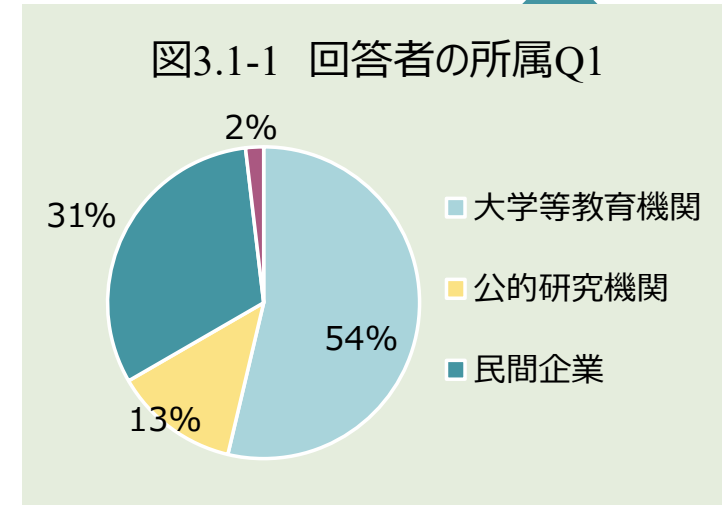


表3.1-2 所属と職業上の立場

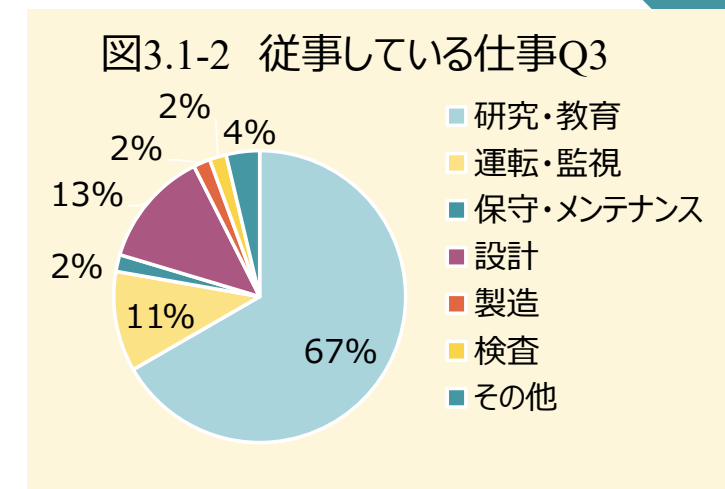
職業上の立場Q2	所属Q1		
	大学等教育機関	公的研究機関	民間企業
ユーザー	28	7	3
メーカー	0	0	14
他	1*		1**
	29	7	18

*：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

3.1 回答者の特徴 2

- 該当する機器類の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%）を占めた(表3.1-1)。
- 研究・教育に従事する方が54名中の36名（67%）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（図3.1-2）。



3.1 回答者の特徴3

- 回答者は10年以上のベテランが74%を占めている（図3.1-3）。
- 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（表3.1-3）。

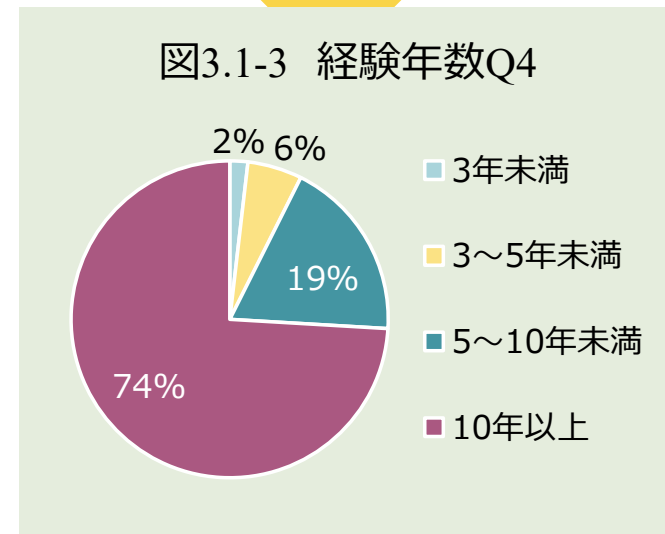


表3.1-3 回答者54名の所属と機器類を扱う頻度

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.	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

3.1 回答者の特徴4

□ 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(表3.1-4)。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。

□ 取扱う機器は超電導マグネット+冷凍機が多く次に液化機であった。この二つだけで全体の機器類の半分を占めている。全体に占める公的研究機関の方は7名（表3.1-2）であるが扱っている機器類は13台と多く、平均して1人で2台以上の機器類を扱っている。（表3.1-5）

表3.1-4 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

表3.1-5 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

3.2 信頼性 1

- アンケートQ10から機器類の運転実績の概略を示す。
 - 累積運転時間：2,100,000h（複数台の可能性あり）～3,500h
 - 年間運転時間：8,760h（連続）～12h
 - 年間発停回数：800～1回

- 累積運転時間，連続運転時間ともに様々であり，無回答も多かったので定量的な評価は難しい。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。次ページの表3.2-1に無答を除く個別の回答を示す。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。

3.2 信頼性 2

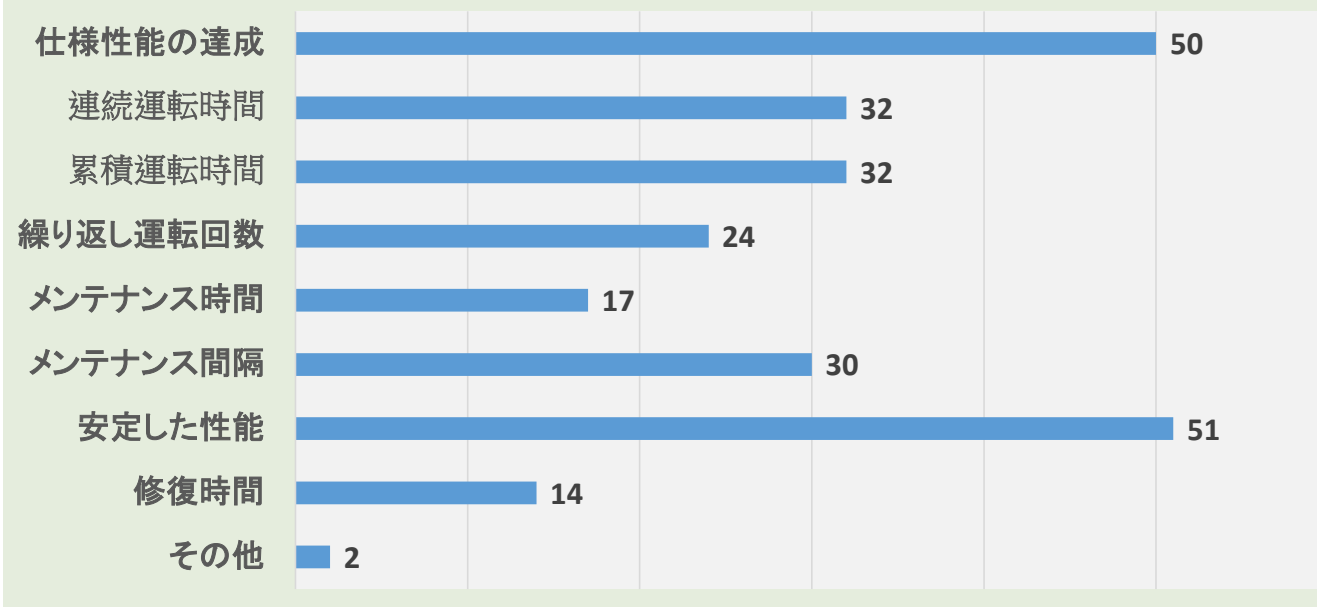
表3.2-1 機器類の累積運転時間/年間運転時間/年間運転回数 Q10

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:()内は編集者記入

3.2 信頼性 3

- 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2項目の回答が多くを占め、要求仕様を安定して満足することの優先順位が高いと思われる。次に運転時間に関する項目が続くがメンテナンスに関しても信頼性と関連付けている回答者が多いことが分かる（図3.2-1）。

図3.2-1 信頼性に関して重視する項目Q9,21,32



3.2 信頼性 4

- 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（図3.2-2）。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8,000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（表3.2-2）。

図3.2-2 回答した機器類の信頼性に問題あると感じるか
Q11,23,35

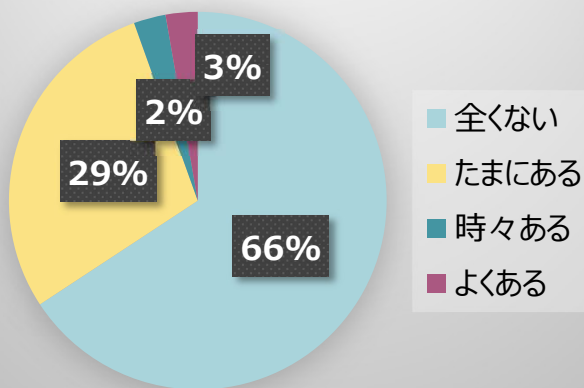


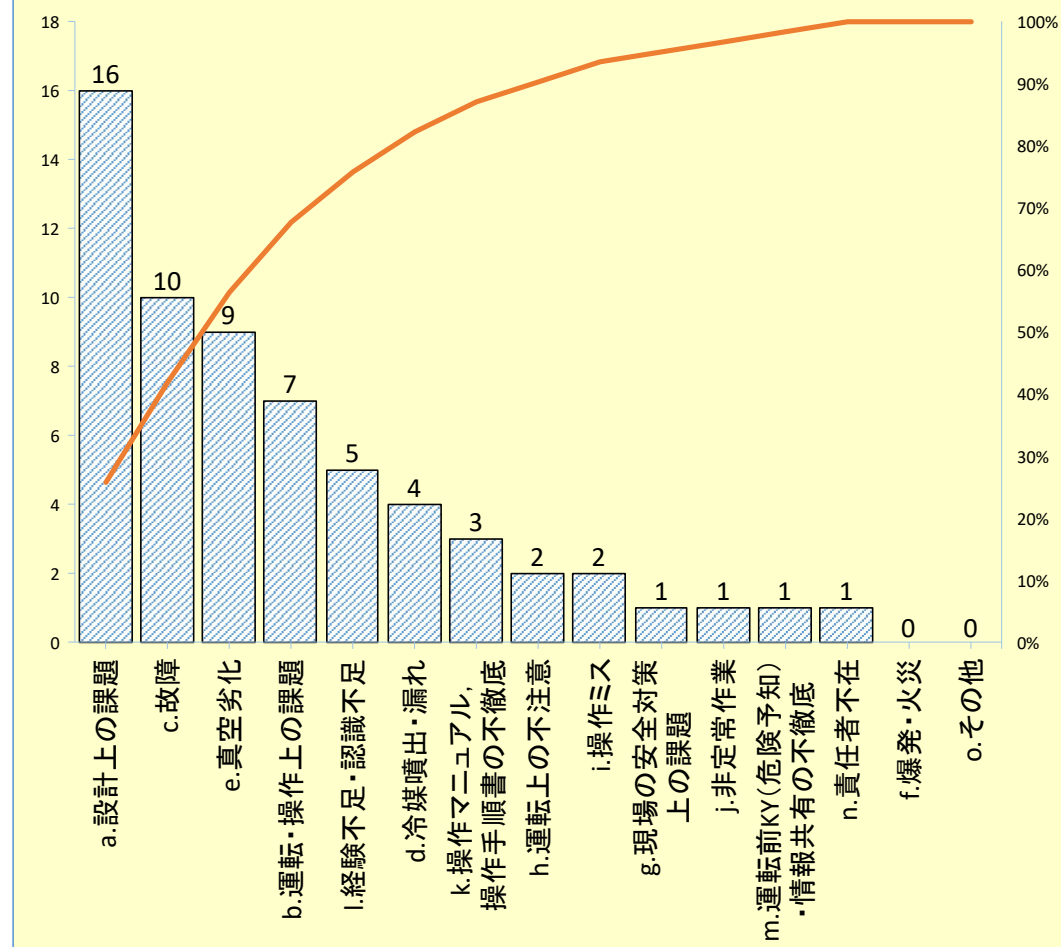
表3.2-2 扱っている機器と信頼性 []内はそのうち8000時間以上運転している機器の数

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

3.2 信頼性 5

- 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。（図3.2-3）。
- 同図中，現場での作業・操作に直接起因すると思われる事象の項目（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件と全体の37%を占めている。

図3.2-3 具体的事象Q15,27,39



3.2 信頼性 6

- 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（図3.2-4）。
- メンテナンスは、機器類73台のうち毎年が41%、故障時22%（図3.2-5）であった。

図3.2-4 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の対処(自由回答)Q16,28,40

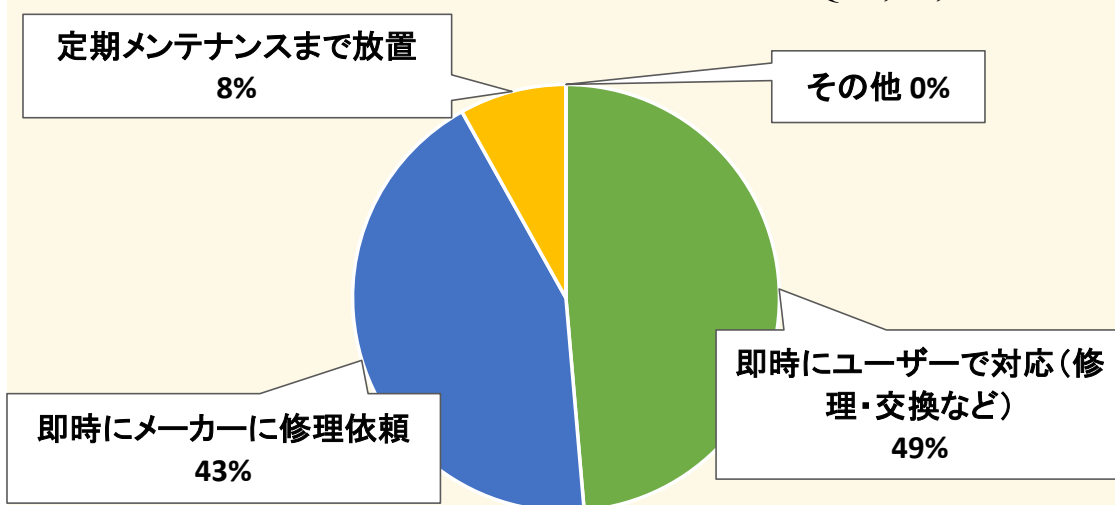
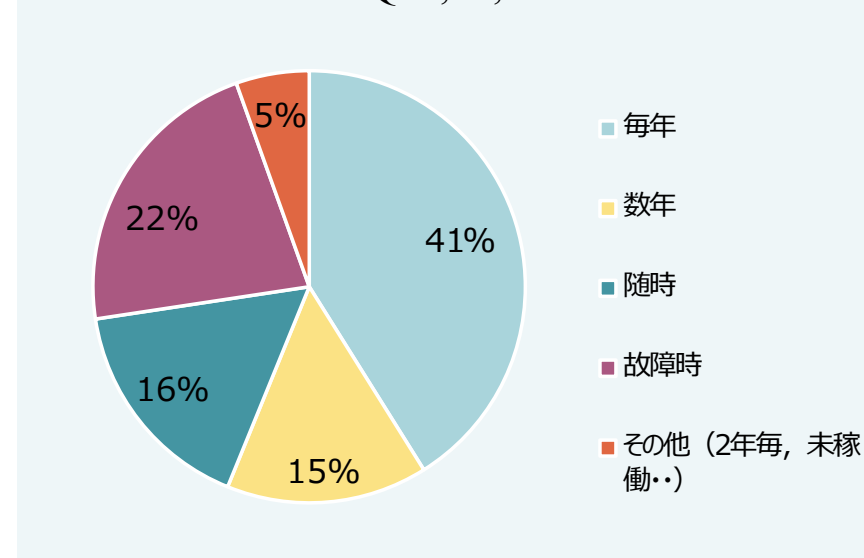


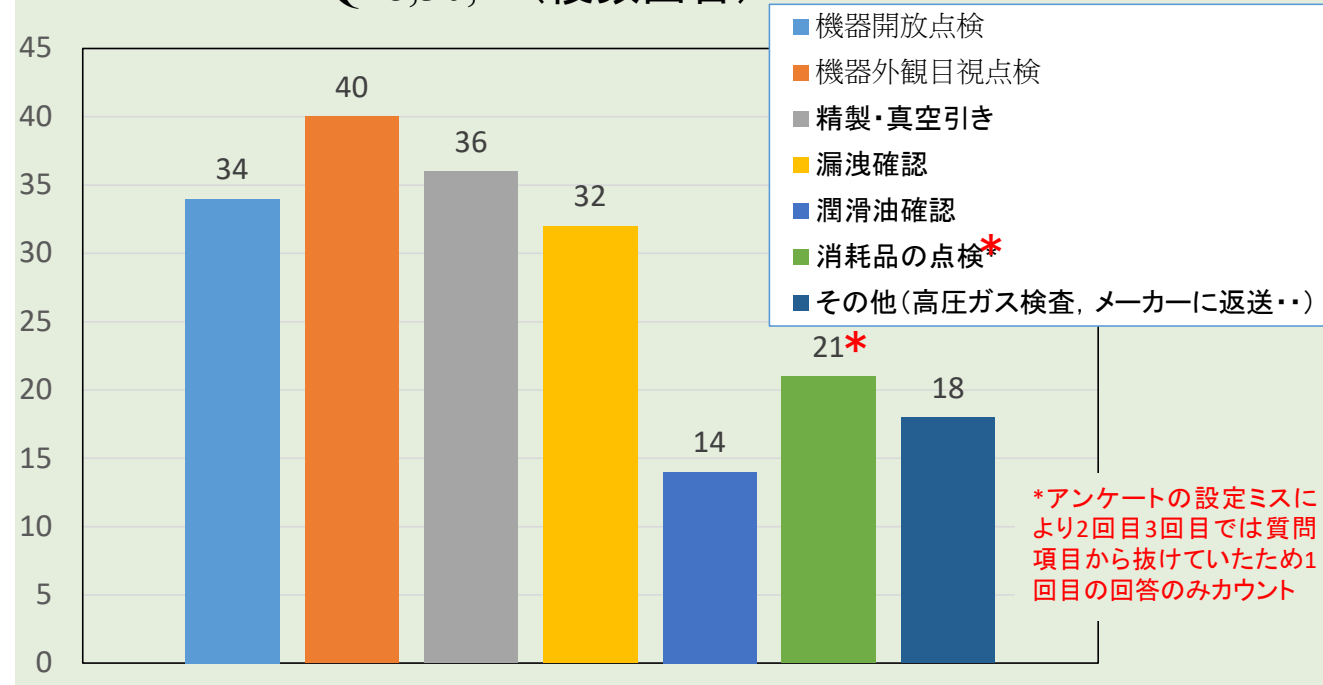
図3.2-5 メンテナンス(回答機器数比) Q17,29,41



3.2 信頼性 7

- メンテナンス時に行っている作業項目を図3.2-6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。

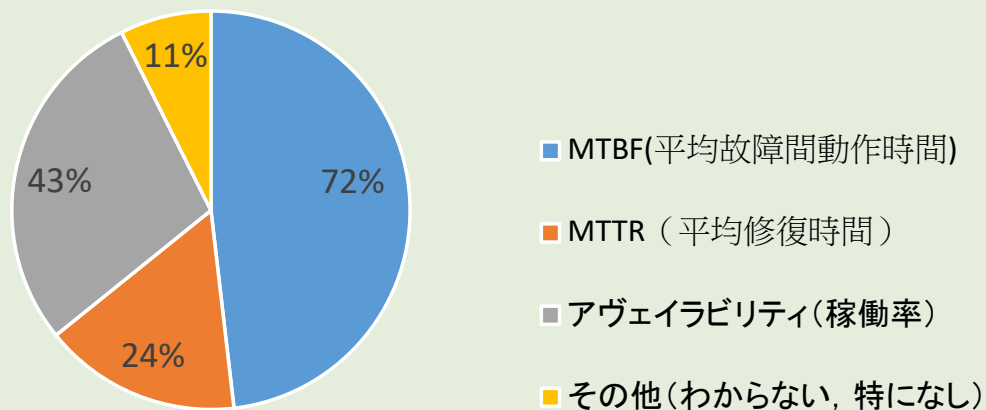
図3.2-6 メンテナンスで行っている作業項目
Q18,30,42(複数回答)



3.2 信頼性 8

- 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図3.2-7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。

図3.2-7 信頼性評価指数として思い浮かぶ用語(複数回答)Q43



3.2 信頼性9

- 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そのまま表3.2-3に示す。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。

図3.2-3 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
超電導マグネット	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。
超電導マグネット+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
超電導マグネット+冷凍機	よくある	小型冷凍機の冷凍能力低下
超電導マグネット+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するOリングの劣化(硬化)
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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。
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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。

3.2 信頼性10

- 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そのまま表3.2-4に示す。

表3.2-4 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
超電導マグネット	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。
超電導マグネット+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
超電導マグネット+冷凍機	よくある	摩耗の少ないピストンリング等の開発
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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. 仕様決定には十分な余裕を持つ必要がある

3.2 信頼性 1 1

- 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そのまま表3.2-5に示す。

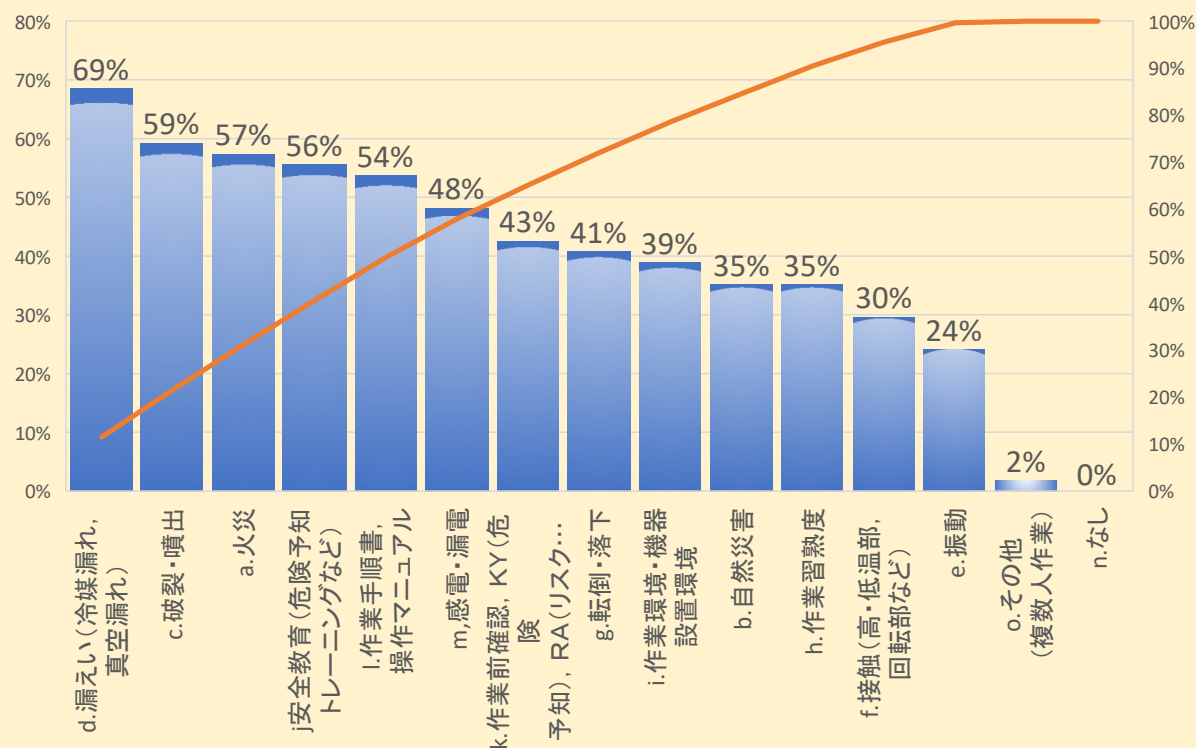
表3.2-5 信頼性向上のために現場で必要と考える対策

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
超電導マグネット	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。
超電導マグネット+冷凍機	たまにある	長い連続運転試験の実績
超電導マグネット+冷凍機	よくある	定期的な予防保全対応
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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)
超電導マグネット+冷凍機	たまにある	手順書の充実。
超電導マグネット+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
超電導マグネット+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。

3.3 安全1

- 安全に対して重視する事象・事項に対する回答を図3.3-1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に対応している。
- 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、回答者が安全向上のため現場での活動に関心を持っていることがうかがえる。

図3.3-1 あなたが安全に対して重視する事象・事項は何ですか
(複数回答可)Q48



3.3 安全2

- 機器類を扱う際に危ないと感じた割合は、図3.3-2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図3.3-3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。

図3.3-2 機器を扱う際に危ないと感じたことは？（回答者比）
Q49

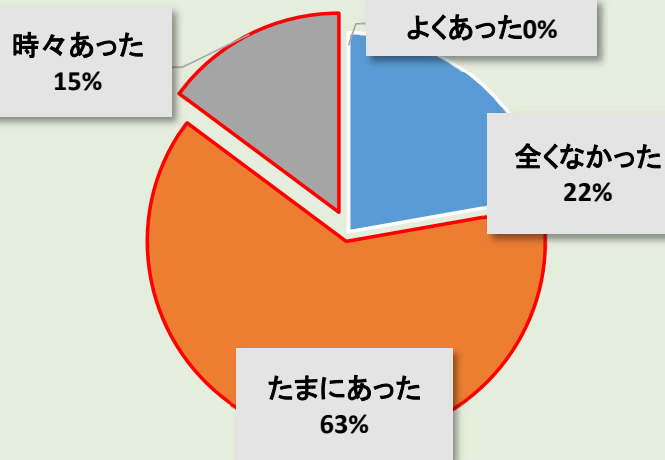
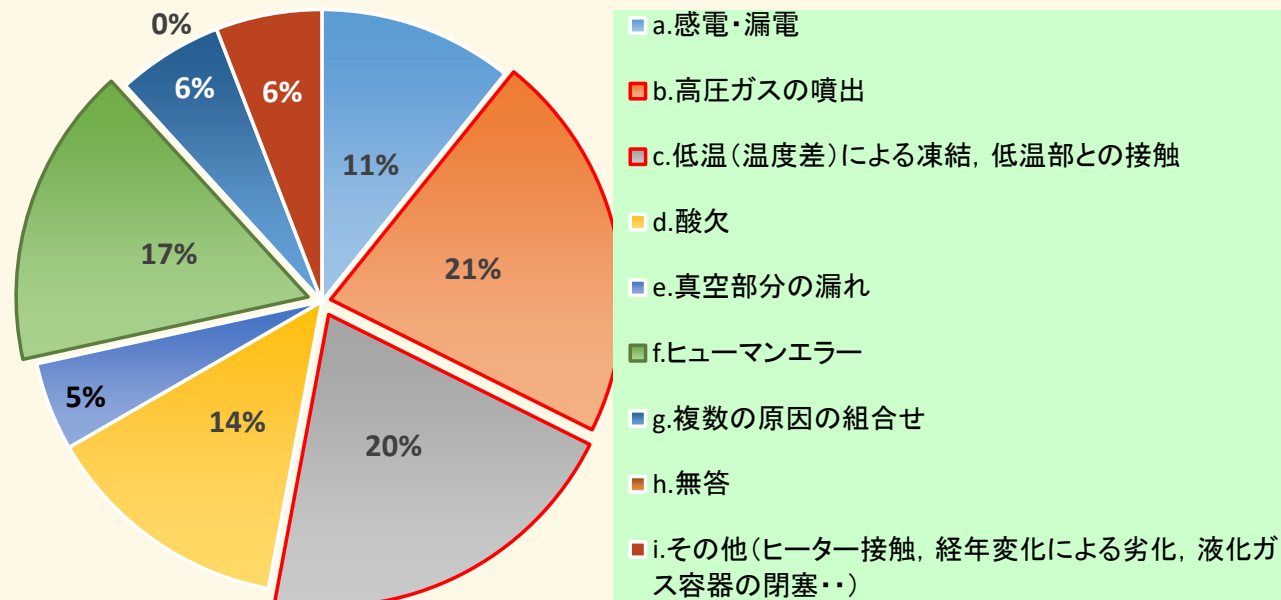
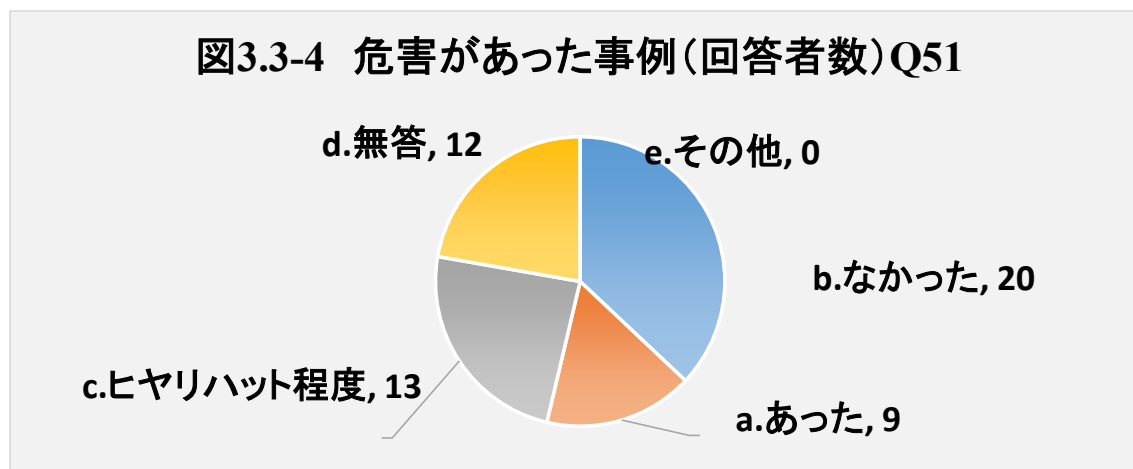


図3.3-3 危ないと感じた理由（複数回答. 回答件数比）Q50



3.3 安全3

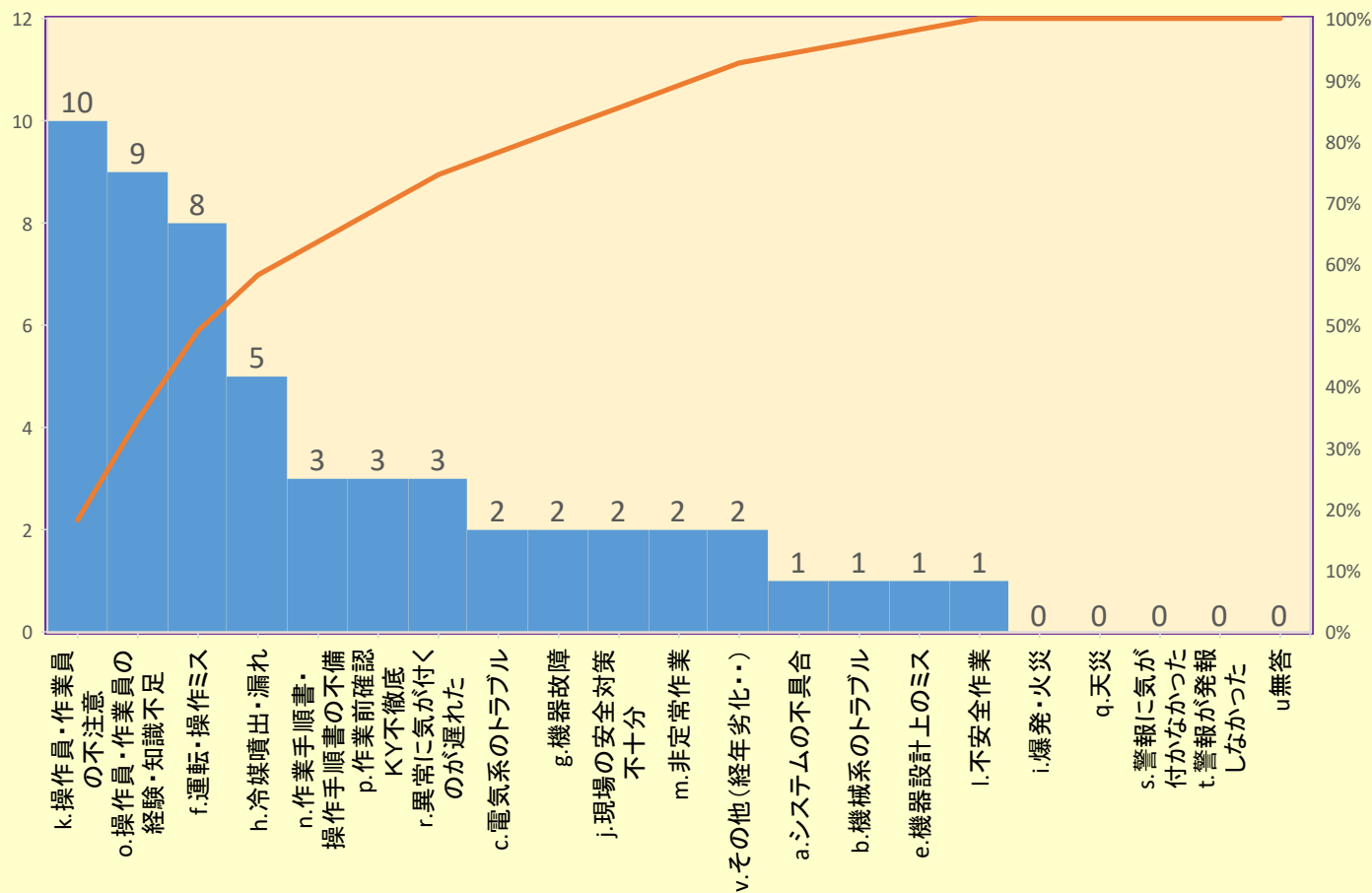
- 実際に危害が生じたか質問したところ（自由記述），20件（回答者の37%）がないと回答している。「あった」，「ヒヤリハット程度」との回答は合わせて22件（回答者の41%）であった（図3.3-4）。



3.3 安全4

□ 図3.3-5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項項目で合計27件と多く， これら3項目で累積件数は回答数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。

図3.3-5 危害のあった事例の原因(複数回答件数)Q52



3.3 安全5

- 図3.3-5をさらに分析した結果を表3.3-1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図3.3-5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、さらに所属に分けて示している。
- 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ように思われる。
- これらの結果から、作業者が危険に遭遇、あるいは危険を生じさせているとも考えられる。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

3.3 安全6

□ 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（表3.3-2）。

表3.3-2 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
超電導マグネット+冷凍機, 超電導マグネット	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。
超電導マグネット+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, 超電導マグネット, 超電導マグネット+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。
超電導マグネット+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)
超電導マグネット, 超電導マグネット+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
超電導マグネット+冷凍機	クエンチ対策
液化機, 超電導マグネット+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

3.3 安全7

- 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表3.3-3に示す。

表3.3-3 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
超電導マグネット+冷凍機, 超電導マグネット 超電導マグネット+冷凍機	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。 漏洩磁場に対する対策
超電導マグネット+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, 超電導マグネット, 超電導マグ ネット+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。
超電導マグネット+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)
超電導マグネット, 超電導マグネット+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?)
超電導マグネット+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, 超電導マグネット+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

3.3 安全8

表3.3-4 機器類と安全

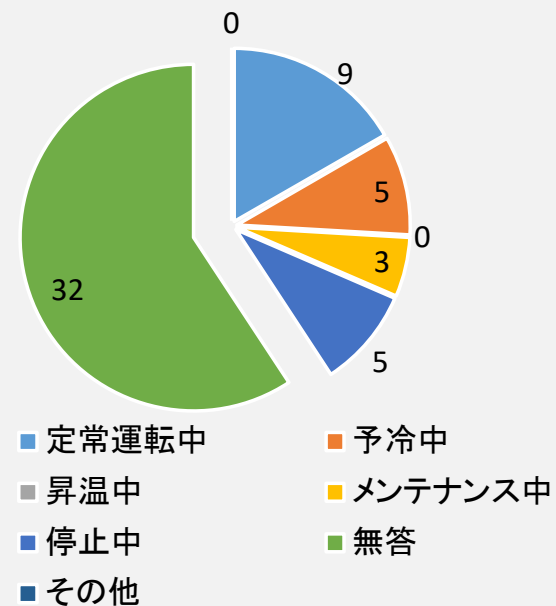
機器	安全を向上させるために、使用している現場ではどのような対策が有効だとお考えですか。 Q47
超電導マグネット+冷凍機, 超電導マグネット	安全弁作動時には怪しい安全弁の元弁を一旦める。可能ならば出口配管を外して元弁を開けて吹きどまっていることを確認する。
超電導マグネット+冷凍機	教育
超電導マグネット, 超電導マグネット	仕様通りに架装
超電導マグネット+冷凍機	トラブル発生時の電力系統からの確実な自動遮断のための多重(検出・動作原理が異なる)保護装置設置
超電導マグネット+冷凍機	磁気シールド
超電導マグネット+冷凍機, 液化機	1. ユーザーへの注意喚起(マニュアル記載) 2. ク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, 超電導マグネット, 超電導マグネット+冷凍機	事前の安全教育が最も有効である。
超電導マグネット+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けるとありがたい。
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
超電導マグネット, 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
超電導マグネット, 超電導マグネット+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)
超電導マグネット+冷凍機	多重チェック
液化機, 超電導マグネット+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

□ 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か具体的な意見が多く寄せられた。記述内容をそのまま表3.3-4に示す。

3.3 安全9

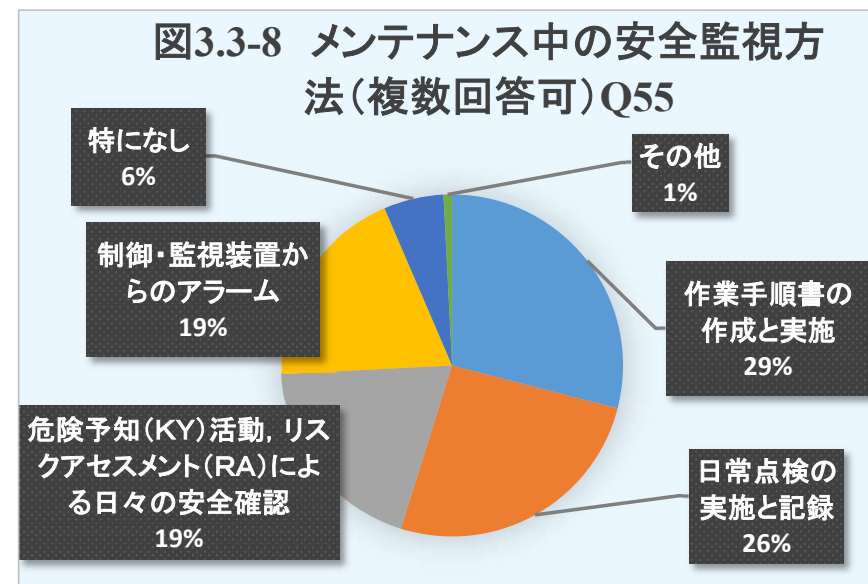
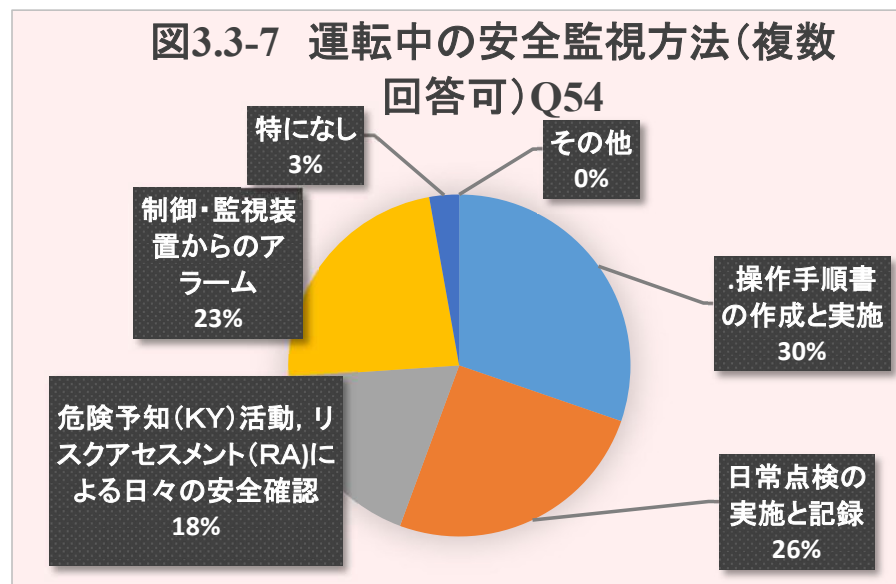
- 事例発生時の状況をうかがった（図3.3-6）。回答のあった22件中9件が定常運転中に発生したとの回答である。また、停止中にも事例が発生したとの回答があり、機器停止中であっても機器が課電中であつたり関連設備が運転しているなどで、何らかの危険が生じている状況があることを示している。
- メンテナンス中の事例は3件と少ないが、メンテナンス中は定常運転中と異なる作業（非定常作業）が増え、また組織外からの作業者も多くなることから、安全に関する認識が高まっているとも考えられる。
- 前々問（Q51）において半数以上が「なかった」、「無答」と回答しているため、本問においても半数以上が無答である。

図3.3-6 事例発生時の機器の状況(自由回答)Q53



3.3 安全10

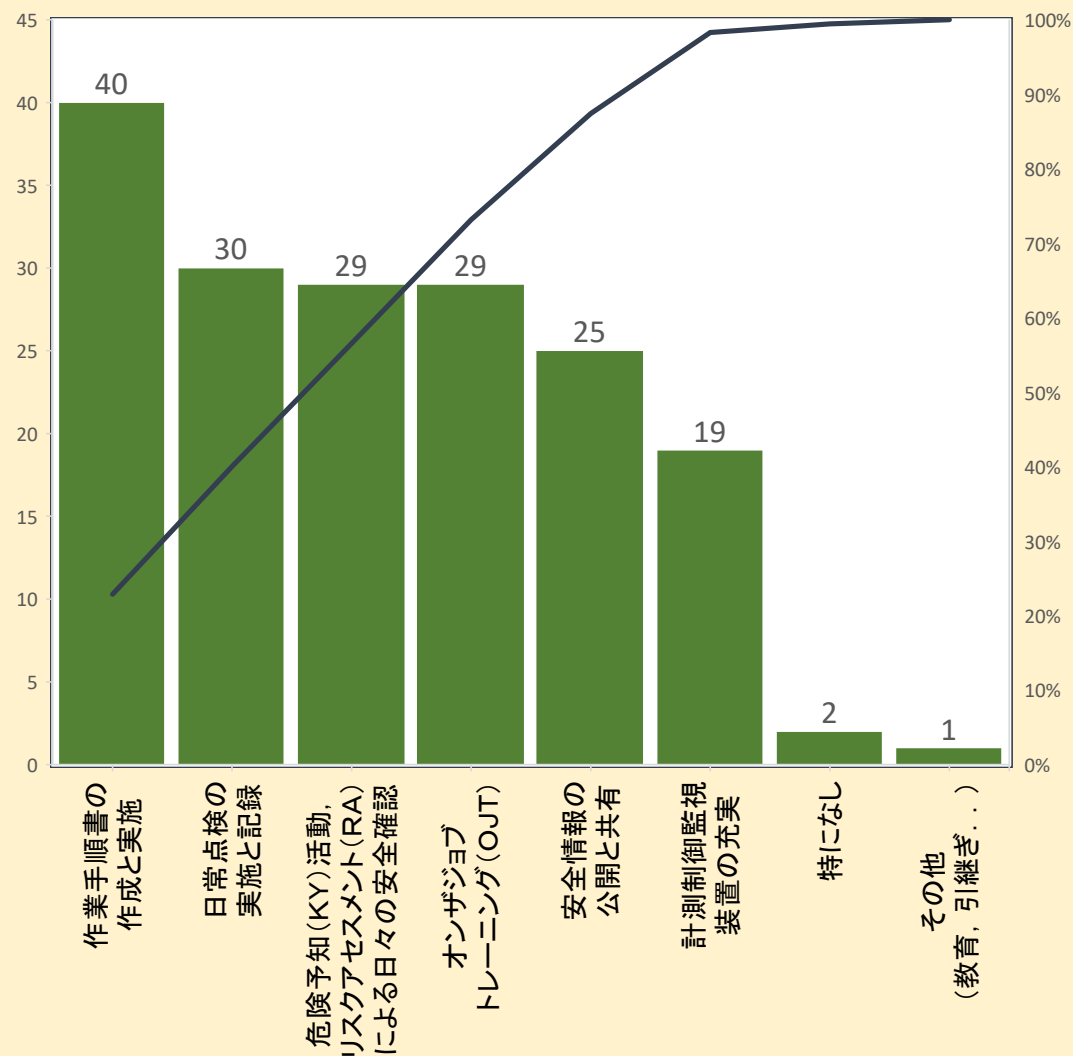
- 安全監視方法に関しては運転中もメンテナンス中とも同様な方法で行われているという結果であった（図3.3-7，図3.3-8）。「特になし」を除いた回答数は，運転中が138件，メンテナンス中が117件と，回答者54名に対して夫々2.6倍，2.2倍であり，複数の方法を組み合わせて安全監視を行っていることがわかる。
- 前問（Q53）でも指摘したように，メンテナンス中は通常と異なる作業が行われるが，作業の内容が異なることから具体的内容についても何う必要があると思われる。
- 「特になし」との回答が運転中で3%（4件）メンテナンス中で6%（7件）あった。



3.3 安全11

- 作業中の効果的な安全対策についての回答を図3.3-9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。

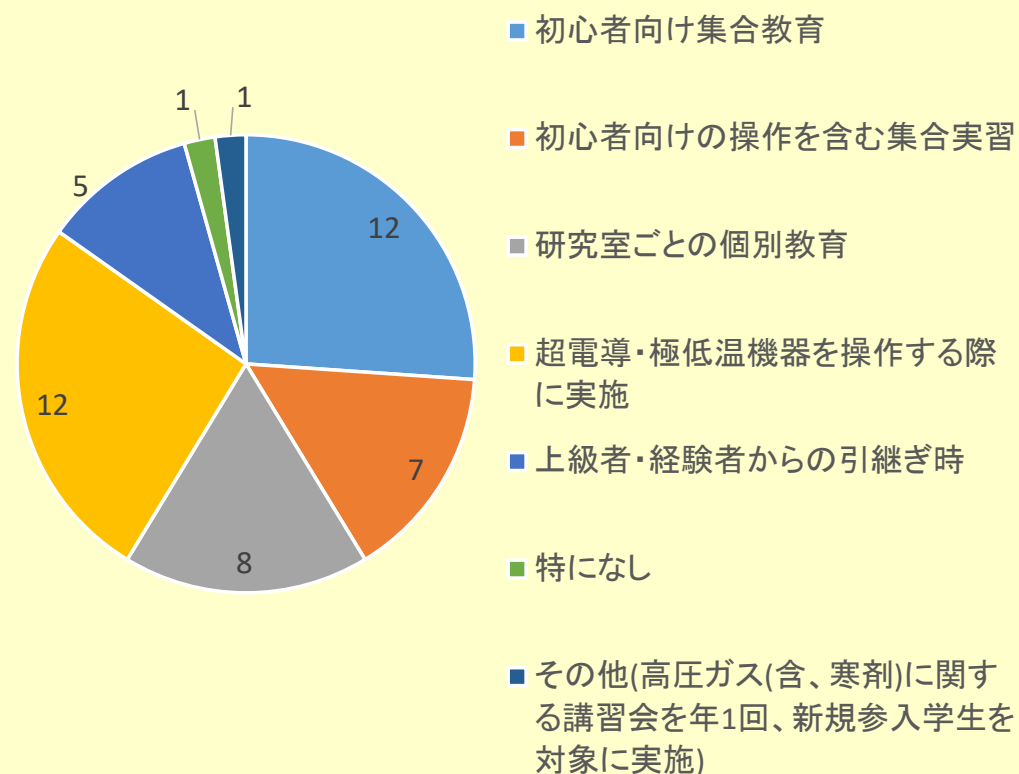
図3.3-9作業中に効果的な安全対策(複数回答)Q56



3.4 安全教育1

- 3.4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。
- 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（図3.4-1）。

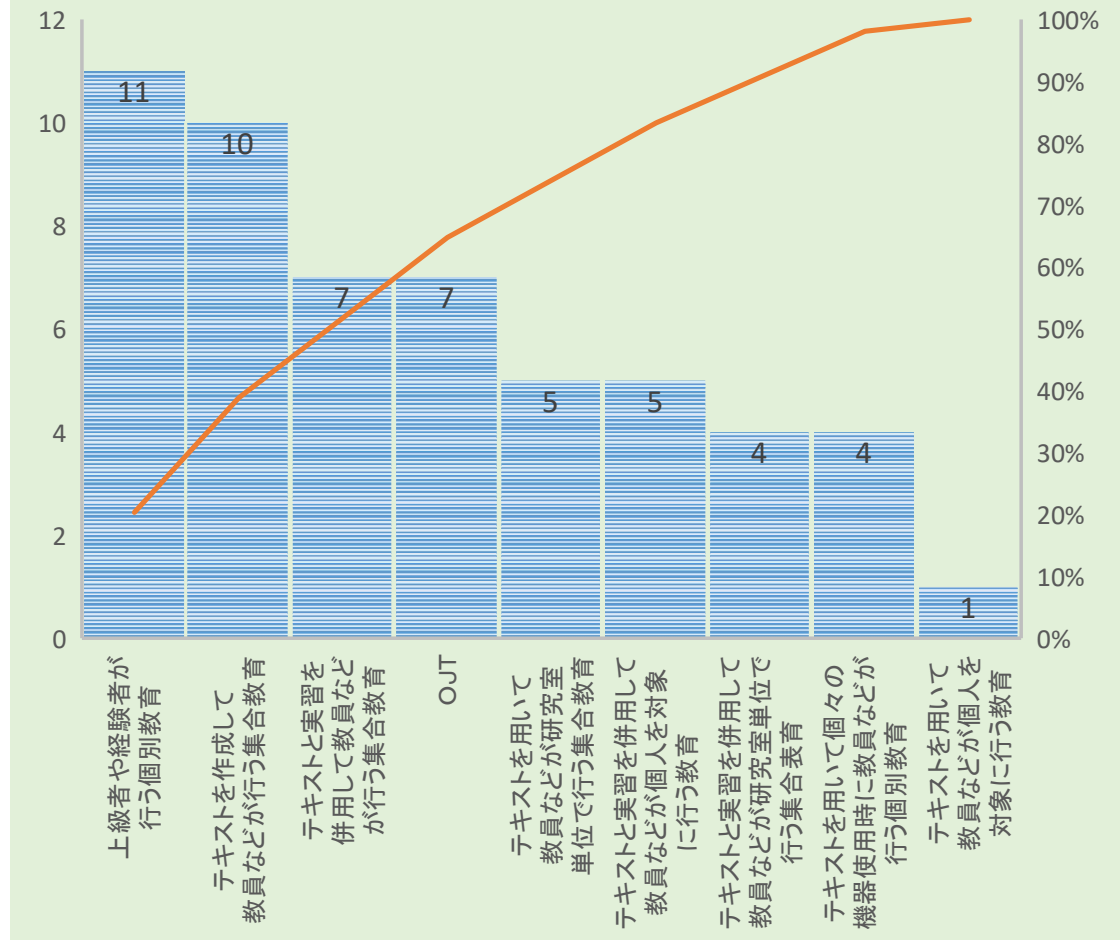
図3.4-1 初心者に行う安全教育(複数回答)
Q58



3.4 安全教育2

- 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（図3.4-2）。

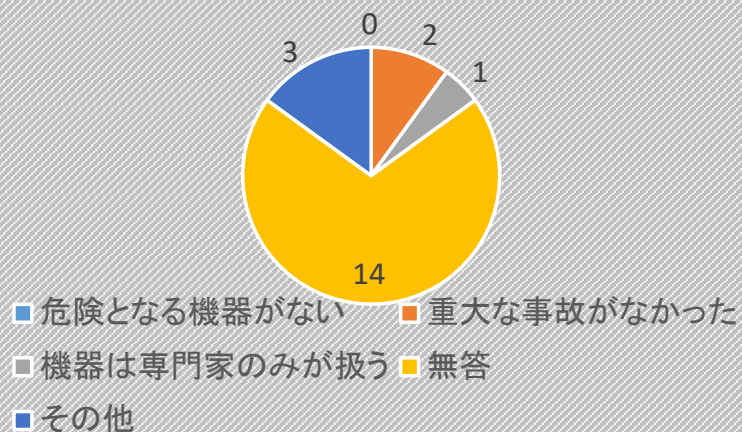
図3.4-2 行っている安全教育(複数回答)Q59



3.4 安全教育3

- 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おり、参考までに記す（図3.4-3）

図3.4-3 特になしとした理由(Q58, Q59で無答と答えた方対象、複数回答)Q60



3.4 安全教育4

- 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広く公開されていないという回答が多かった (図3.4-4). 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 (図3.4-5).

図3.4-4 安全教育を担当されている19名中テキストを公開されている数Q61

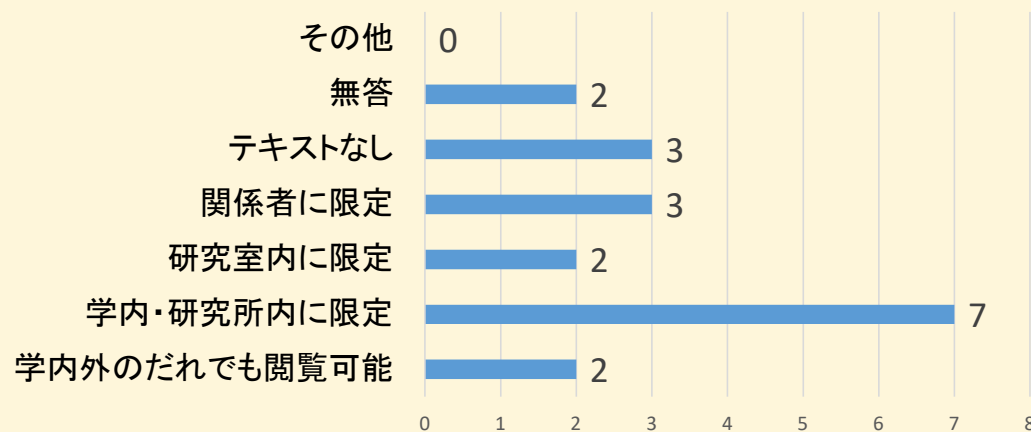
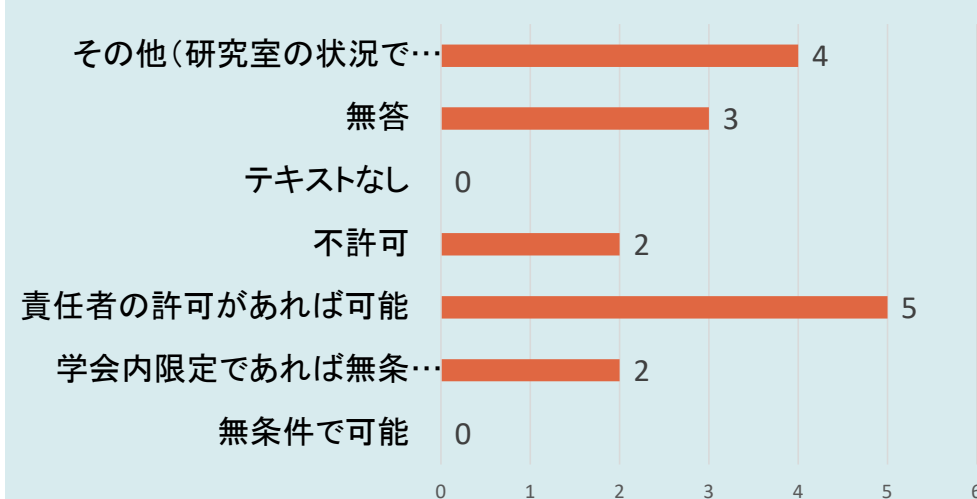


図3.4-5 環境・安全委員会へのテキスト転載の可否Q62



3.5 共通設問1

- 3.5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表3.5-1～4に示す。
- 希望する情報提供として事故事例（ヒヤリハット含む）を上げることが多く、情報共有の必要性が感じられる（表3.5-1）。

表3.5-1 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

3.5 共通設問2

表3.5-2 必要と考える資格

- 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ことにも留意する必要がある。従って、新たな資格が必要と考える方は18人(33%)であった(表3.5-2)。
- 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る。

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、無い方が良いでしょう。
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
機器それぞれの取り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

3.5 共通設問3

□ 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(表3.5-3)。

表3.5-3 信頼性と安全に対する意見

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。	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いていただけるとありがたいです。
特になし	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
特になし	・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？)
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。	とにかく安全第一
取扱装置に対する十分な知識	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。
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します。	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。
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。	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。
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思う。	過去の危険だったことがらを報告する場があると良い。
どちらも重要である。車の両輪である。	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。
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します。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。	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
特になし	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。
一部を除き超伝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。	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思います。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。
低温工学・超伝導学会が主導で、上記の「低温超伝導機器技能者」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に含まれない超伝導・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。	

3.5 共通設問4

- 本アンケートに関するご意見を伺った。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（表3.5-4）。

表3.5-4 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
取り纏めよろしく申し上げます。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。

4. アンケートから見えてきた課題 4.1 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」などの現場の人為的要因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。
- 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。

4.2 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
 - 下表に，表3.5-3に示した意見を4つの項目に分類してまとめる．

分類項目	指針・ガイドライン	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

5. 今後の活動について

- アンケートに関して
 - アンケートでは非常に率直かつ真剣な要望・提案を頂いた。
 - 環境・安全委員会としても今後の活動に生かしていくべきと考えている。
- 今後の活動について
 - アンケートの内容は、学会誌「低温工学」あるいはHP上で詳細な報告（本レポート含む）を予定している。報告後、アンケートWGの活動は終了し、環境・安全委員会に引き継ぐ。
 - 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。
 - 安全に関する要望は、安全・環境委員会で検討を進める。すでに安全テキスト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。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のひな型を作るとともに、開示方法、情報収集方法を検討していく。他の項目についても学会員の皆様の協力も得ながら優先順位をつけて作成を進めていく。
 - 学会全体で検討すべきと考える項目（資格など）は、学会全体の課題として改めて要望を伺ったうえで優先順位をつけて実行していくよう提案していきたい。
 - 効率や信頼性についてはIEC/TC90で検討を開始中である。

6. 参考1 安全と信頼性の用語について1

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 (表6.1-1 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 (表6.1-2)。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。表 参考1-2にさらに英語と日本語の表現の違いの考察を示す。

6. 参考1 安全と信頼性の用語について2

表 6.1-1 IEC 60050-192:2015/JIS Z 8115(2019)の言葉の定義

番号	用語	定義	対応語
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、フォールトトレランス、フォールトリムーバル及びフォールトフォアキャストがある。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の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。

6. 参考1 安全と信頼性の用語について3

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。

表 6.1-2 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

6. 参考2 アンケート項目（詳細） 1

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—で示す。

	質問番号	質問内容
回答者の属性	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)—
	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)—
	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)—
	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)—
	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)—
注：Q8～Q18は最大3回繰り返し(Q20～30，Q32～42)		
信頼性	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) 複数の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] —
	9	前問で選択した機器(以下当該機器)の信頼性に関し重視する項目は何ですか(必須，複数回答可) —
	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

6. 参考2 アンケート内容（詳細） 2

信頼性	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) 一
	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) 一
	17	当該機器のメンテナンスは通常どの程度ですか(必須) 一
	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、複数回等可) 一
	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) 一

6. 参考2 アンケート内容（詳細）3

表

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) 選 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、あなたに関係している(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。記
	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。記 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。記
	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) —
	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)。選
	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) —
	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。 —
	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) —
	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。 —
	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) —
	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) —
	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) —

6. 参考2 アンケート内容（詳細）4

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）	—
	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）	—
	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）	—
	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）	—
	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）	—

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。記
	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。記
	65	信頼性と安全に対するご意見を伺わせてください。記
	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。記



アンケートにご協力頂いた
皆様に感謝いたします。
