

卒業論文

宇宙ロケット地上設備における
リスクベースメンテナンスの検討

p.1~p.81 完

平成21年2月6日提出
指導教員 酒井 信介 教授
70238 篠田 治人

目次

第1章 序論	6
1.1 研究背景.....	7
1.1.1 設備保全の事情	7
1.1.2 リスクベースメンテナンス(RBM :Risk-Based Maintenance)	7
1.1.3 RBM 導入に関する問題点.....	8
1.2 研究目的.....	9
1.3 本論文の構成	9
第2章 故障率算出に関する理論	10
2.1 故障率	11
2.1.1 信頼度と故障率	11
2.1.2 バスタブ曲線.....	12
2.2 ベイズの定理	14
2.3 ベイズ推定の手順.....	15
2.3.1 事前分布の設定	15
2.3.2 ベイズの定理による更新.....	16
2.3.3 事後分布の評価	16
第3章 故障率の解析	17
3.1 緒言	18
3.2 評価の対象および故障の定義.....	18
3.3 故障率のモデル化.....	22
3.4 事前分布の設定方法	23
3.4.1 最小二乗法による近似	23
3.4.2 標準偏差の設定	27
3.5 1母数の推定による故障率の解析	28
3.5.1 解析手法	28
3.5.2 解析結果	29
3.5.3 考察と問題点.....	32
3.6 2母数の推定による故障率の解析	33
3.6.1 解析手法	33
3.6.2 解析結果	34
3.6.3 考察.....	38
3.7 結言.....	38
第4章 リスクの評価.....	39

4.1	緒言	40
4.2	影響度の定量的評価手法	40
4.2.1	影響度基本点	41
4.2.2	補正係数	44
4.2.3	総合評価	45
4.3	影響度評価の結果	45
4.4	リスクマトリクスの作成	47
4.5	リスク評価の結果	48
4.6	結言	51
第5章	結論	52
付録A	推定する母数が2つの場合のベイズの定理による更新例	54
	手法	55
	考察	58
付録B	影響度評価の結果	59
付録C	リスク評価の結果	68
	参考文献	77
	謝辞	79

表目次

Table 3-1	Elements and their failure modes	21
Table 3-2	The Number of connecting points	22
Table 3-3	Data of Failure and Inspection for Safety Valve	24
Table 3-4	Failure data of manual valves	25
Table 3-5	Failure data of safety valves	25
Table 3-6	Failure data of all elements	25
Table 3-7	Failure rate of all elements	37
Table 4-1	Point Ranking	41
Table 4-2	Revising coefficients	44
Table 4-3	Consequence of each Element	46
Table 4-4	Ranking Pattern	48
Table 4-5	Risk rank	50
Table A-1	Example Data of Inspection	55
Table A-2	Prior Distribution	55
Table A-3	Likelihood in 1 st year	56
Table A-4	Multiply Likelihood with Prior Distribution	56
Table A-5	Posterior Distribution in 1 st year	57
Table A-6	Likelihood in 2 nd year	57
Table A-7	Multiply Likelihood with Prior Distribution	58
Table A-8	Posterior Distribution in 2 nd year	58
Table B-1	Consequences of all elements	60
Table C-1	Failure rate and Risk rank of all elements	69

目次

Fig. 1-1	Risk Matrix.....	8
Fig. 2-1	Bath-tub Curve.....	13
Fig. 2-2	Example of Bath-tub Curve.....	13
Fig. 2-3	The Bayes' theorem	14
Fig. 2-4	Process of Bayes'	15
Fig. 2-5	$100 \times (1 - k)\%$ credible interval	16
Fig. 3-1	System of HGS	20
Fig. 3-2	Approximate expression of manual valves	25
Fig. 3-3	Approximate expression of safety valves	26
Fig. 3-4	Approximate expression of all elements	26
Fig. 3-5	Normal Distribution.....	27
Fig. 3-6	Flowchart	28
Fig. 3-7	Update of "a" Distribution : HRV-3320	30
Fig. 3-8	Update of "a" Distribution : HRV-3324	30
Fig. 3-9	Update of "a" Distribution : HRV-3329	31
Fig. 3-10	Failure rate of HRV-3320.....	31
Fig. 3-11	1998 Prior Distribution	35
Fig. 3-12	2007 Posterior Distribution	35
Fig. 3-13	Failure rate of HRV-3324.....	36
Fig. 4-1	Working Elements in supplying Gas He to tank "TK-3004" by using Compressor "C-3004".....	42
Fig. 4-2	Working Elements in supplying Gas He to tank "TK-3005" by using Compressor "C-3004".....	42
Fig. 4-3	Working Elements in supplying Gas He to VBA from tank "TK-3004"	43
Fig. 4-4	Working Elements in supplying Gas He to VBA from tank "TK-3005"	43
Fig. 4-5	Risk Matrix.....	47
Fig. 4-6	Risk Matrix of Pattern 1	48
Fig. 4-7	Risk Matrix of Pattern 2	49
Fig. 4-8	Risk Matrix of Pattern 3	49

第 1 章 序論

本章では，研究背景を概説し，本研究の目的を述べる．

1.1 研究背景

1.1.1 設備保全の事情

現在の日本の産業において、プラント設備の新設は頭打ちの状態となり、老朽化した設備が様々なメンテナンスや延命策を施され今日も稼動している場合が多い[1]。これは、宇宙ロケット地上設備に関しても類似している。現在、日本の宇宙ロケット打ち上げ施設としては種子島宇宙センター(TNSC)があるが、1969年の開設以来40年近く使用されてきた。現在の主力ロケット H-2A の発射設備は、先代の主力ロケット H-2 の時より用いられてきたものであり、20年近く使用されている。さらに、次期主力ロケット H-2B も同じ発射設備を改造した上で使用されることになっている。このように、宇宙ロケット地上設備は、老朽化していく設備を引き続きメンテナンスや延命策を施し稼動を続けていく必要がある。

宇宙ロケットの打ち上げに際しては信頼性が最優先事項とされており、地上設備においても不具合がないように確実なメンテナンスを行いながら稼動していく必要がある。一方で、商業用ロケット産業において、国際的な競争力も維持しなければならないという要求もあり、あらゆることに対して可能な限りのコスト削減を求められる状況が生まれている。設備維持のためのコストも当然削減を迫られている。このように相反する要求のあるなかで、メンテナンスのあり方には必然的に科学的合理性と経済性の両立が求められるようになっていく。

1.1.2 リスクベースメンテナンス(RBM :Risk-Based Maintenance)

メンテナンスを合理化し、コストを低減するための手法としてリスクベースメンテナンス(RBM : Risk-Based Maintenance)が注目を集めている[2][3][4]。

RBM とは、メンテナンスの対象となる機器ごとに『リスク』を算出し、『リスク』を基準としてメンテナンス計画をたてる手法である[2]。ここで言う『リスク』とは、ある時限の間に、ある事象が発生する確率と、その事象による被害の大きさとの組み合わせであり、次式で計算される。

$$\text{リスク} = \text{「故障率(故障の起こりやすさ)」} \times \text{「影響度(故障時の被害の大きさ)」} \quad (1.1)$$

また、リスクを視覚的にわかりやすくまとめたものとして、Fig. 1-1 に示すようなリスクマトリクスがある。リスクマトリクスによって、機器ごとのリスクの高低やリス

クの種類が、マトリクス上の位置としてわかりやすく表現される。

リスクマトリクスによって得られた優先順位から、リスクの高い機器に対し検査を集中し、リスクを軽減する行為を行うことで、メンテナンスが効率的に行える。また、許容できる範囲よりもリスクが低い部位には、検査を簡略化することで、コストダウンが見込め、経済的でもある。

RBM は米国などでは既に活用され、安全性を高めながら検査を合理化することが実際に行われている。米国機械学会（ASME）及び米国石油学会（API）はガイドラインを発行しており、日本では近年になり合理的な検査の必要性から上記ガイドラインを基に RBM の規格・基準の整備が行われている状況である。

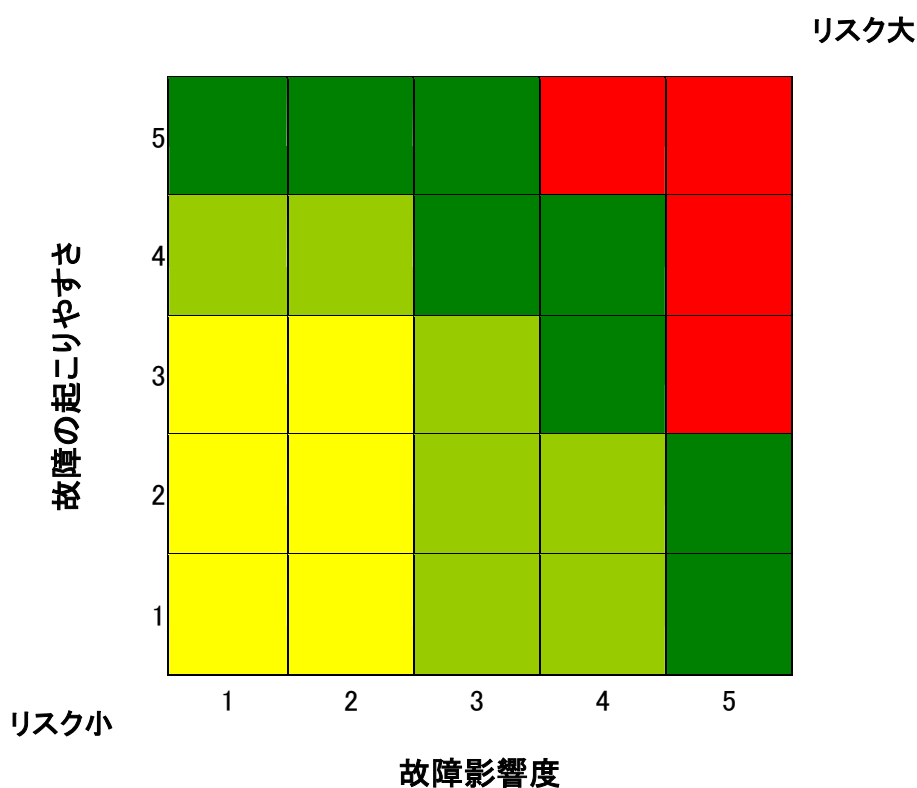


Fig. 1-1 Risk Matrix

1.1.3 RBM 導入に関する問題点

施設に対して RBM を行う際には、機器ごとに故障率を求める必要がある。RBM に利用可能である故障確率データとしては、米国石油協会の API581[5]に記載されたものが広く認知されている。しかし、API581 の故障確率データは米国の石油化学プラントを対象として求められたものであり、今回のような宇宙ロケット地上設備に単純に適

用することには疑問がある。故障率の評価においては、設備の実情に即したデータを用いることが必要であるが、日本の施設ではこれまでリスク評価への適用を意識した多用な機器に対する故障確率及び寿命分布データの系統的な整備が行われてこなかったために、故障確率評価に資するような情報が十分に得られないという問題が存在する。このため、RBMの導入にあたっては、対象となる設備の過去の定期検査データ等から故障率の評価を行う必要がある。特に、対象を一つの設備とした場合、得られる過去のデータは少数になってしまう。従って、宇宙ロケット地上設備にRBMを導入するにあたっては、その少ないデータから、故障率を評価する必要がある。

1.2 研究目的

前節で述べた背景を踏まえ、以下の2点を本研究の目的とする。

- ・ 対象範囲を発射設備全体から一部に絞った上で、過去の定期検査データから機器ごとの故障率を算出する手法を開発し、対象範囲の全機器の故障率を算出する。
- ・ 対象範囲における機器の影響度をJAXA(宇宙航空研究開発機構)とともに評価し、故障率と影響度を組み合わせることでリスクマトリクスを作成し、宇宙ロケット地上設備におけるRBMについて検討する。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第1章 「序論」では、研究背景を概説し、本研究の目的を述べる。

第2章 「故障率算出に関する理論」では、故障率を算出するための基礎理論として、信頼性工学の理論と、ベイズ統計学の手法を概説する。

第3章 「故障率の解析」では、第2章で示した理論を用いて、機器の故障率を算出する手法を開発し、実際に各機器の故障率の算出を行う。

第4章 「リスクの評価」では、第3章で求めた故障率を、対象範囲について行った影響度の評価と合わせることで、リスクの評価を行い、その結果を示す。

第5章 「結論」では、本論文によって得られた結論を示す。

第 2 章 故障率算出に関する理論

本章では，故障率を算出するための基礎理論として，信頼性工学の理論と，ベイズ統計学の手法を概説する．

2.1 故障率

2.1.1 信頼度と故障率

機器を使用し始めてからある時間 t が経過したときに、その機器に故障が起こらず、使用を続けられる状態にある確率 $R(t)$ を機器の信頼度と呼び、時間 t の関数として表される[6]. 一方、ある時間 t までに故障が起こり、機器が使用できなくなる確率を $F(t)$ と表すと、以下の関係が成り立つ.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.1)$$

このとき、 $F(t)$ は機器の寿命の累積分布関数を意味する. 一方、機器の寿命の密度分布関数を $f(t)$ とすると、

$$F(t) \equiv \int_0^t f(t) dt \quad (2.2)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.3)$$

という関係が成り立つ.

故障率(failure rate)は、信頼性工学で最も基本的な概念の一つである[7]. 故障率は、同じ機器を時間 $t=0$ に使用開始したとして、ある時間 t が過ぎたとき、以下の式によって表される.

$$\text{(時間}t\text{における)故障率} = \frac{\text{時間}t\text{の瞬間に故障する機器の数}}{\text{時間}t\text{まで故障していない機器の数}} \quad (2.4)$$

時間 t までに故障していない機器の数とは、言い換えれば時間 t において使用している機器の数である.

N 個の機器を同時に使用を開始して、時間 t が経過したときの故障率 $\lambda(t)$ を考える. 時間 t まで故障していない機器の個数は $N \cdot R(t)$ であり、時間 t からの微小時間 dt の間に故障する機器の個数は $N \cdot f(t)dt$ となる. 従って、その dt の期間に故障する確率 $\lambda(t)$ は、

$$\begin{aligned} \lambda(t)dt &= \frac{N \cdot f(t)dt}{N \cdot R(t)} \\ \lambda(t) &= \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)/dt}{1 - F(t)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

となる.

2.1.2 バスタブ曲線

一般に、部品の故障率は Fig. 2-1 に示すような時間的变化をすることが多い。このような曲線はバスタブ曲線、または故障率曲線と呼ばれる[6][7]。

バスタブ曲線は時間経過ごとに、初期故障期、偶発故障期と磨耗故障期の3つの領域に分けられる。

初期においては、故障率は比較的高いところから時間が経過するにつれて徐々に減少していく。この時期に発生する故障を初期故障と言い、この領域を初期故障期と呼ぶ。初期故障は、設計上の欠陥、品質管理の不備や組立て不良、あるいは使用環境との不適合などの原因で起こる[6]。

その後、故障率は低いところではほぼ一定となる。この領域を、偶発故障期と呼ぶ。ランダムで過大な加重による破損、偶発的な熱エネルギーによる物理・化学変化等がこの種の故障の原因となる。この種の故障は部品交換や定期検査を行っても故障率を下げることは理論的に出来ない[6]。故障率を下げるには、強度や荷重条件の緩和、並列系の構成等、システム的な改善をする必要がある。

偶発故障期後、時間経過につれて故障率が増加していく。この領域を磨耗故障期と呼ぶ。この時期の故障は疲労・損耗故障とも呼ばれ、疲労・磨耗・劣化等によって時間とともに故障率が増加する。この種の故障は、供用中検査によって欠陥や劣化を検出して補修したり、また定期的に部品を交換したりする保守により、故障率が増大することを抑えることが出来る[6]。

種々の故障原因が独立であって、いずれの原因によっても故障が起こる場合、故障率の加法則が成り立つ。個々の原因の故障率を $\lambda_1(t)$, $\lambda_2(t)$, $\lambda_3(t)$, ... であるとすると、以下の式が成り立つ。

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \lambda_3(t) + \dots \quad (2.6)$$

例えば、 $\lambda_1(t)$, $\lambda_2(t)$, $\lambda_3(t)$ をそれぞれ初期故障、偶発故障、および磨耗故障の故障率として、これらの要因が独立である場合の故障率は、式(2.6)によって与えられる。

例として、

$$\lambda_1(t) = 0.6 \exp(-t), \lambda_2(t) = 0.1, \lambda_3(t) = 0.0007 \exp(0.35 \cdot t) \quad (2.7)$$

とおき、式(2.6)を用いると、Fig. 2-2 のような故障率のグラフとなる。

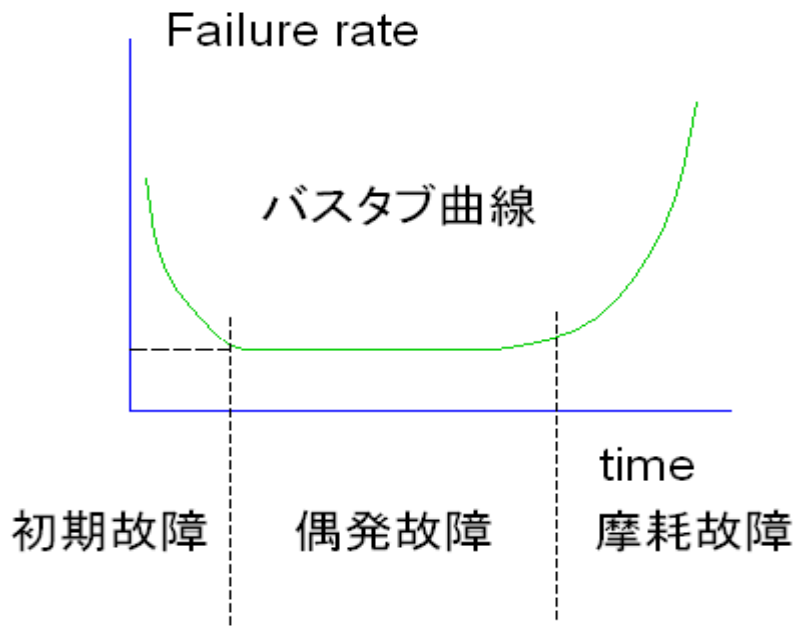


Fig. 2-1 Bath-tub Curve

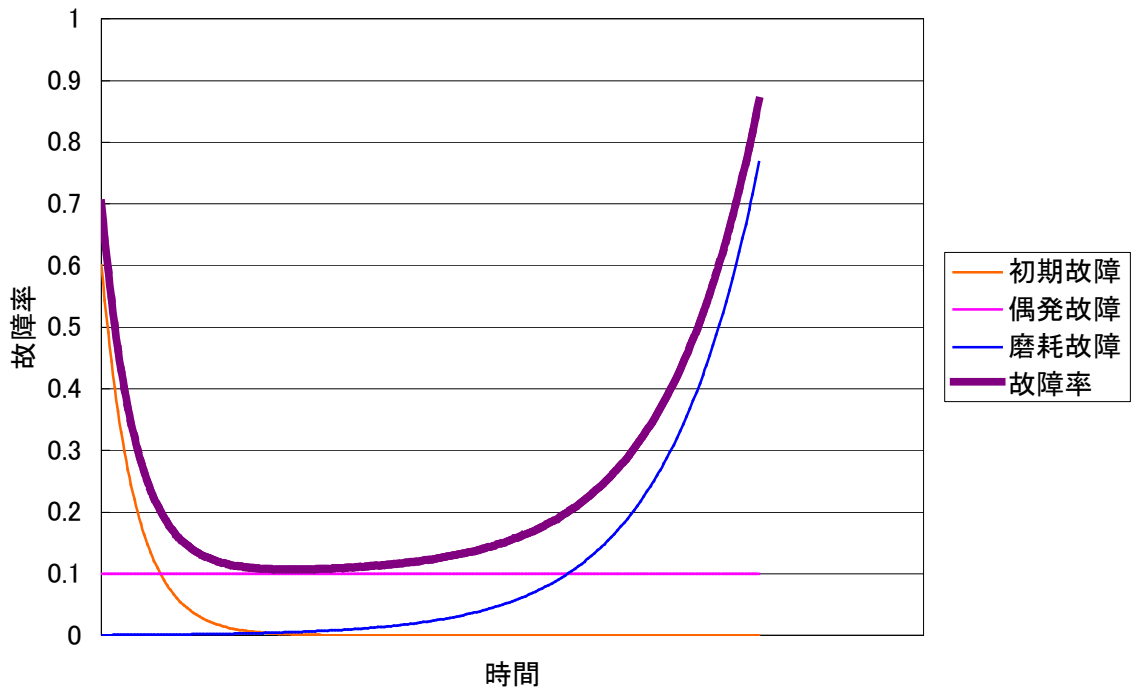


Fig. 2-2 Example of Bath-tub Curve

2.2 ベイズの定理

ベイズ推定の核をなすベイズの定理について解説する。あるデータ D を説明するための仮説 H_i が n 種類存在し、それ以外に仮説はありえず、複数の仮説が正しいことはないとする。

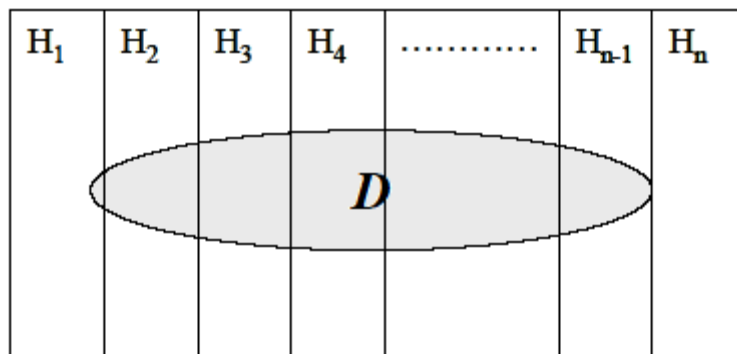


Fig. 2-3 The Bayes' theorem

このとき、データ D が得られて、且つ、その原因が仮説 H_i である確率 $P(D \cap H_i)$ は式(2.8)で求められる。

$$P(D \cap H_i) = P(H_i | D)P(D) = P(D | H_i)P(H_i) \quad (2.8)$$

これを変形することで、ベイズの定理が得られる。

$$P(H_i | D) = \frac{P(D | H_i)P(H_i)}{P(D)} = \frac{P(D | H_i)P(H_i)}{\sum_{i=1}^n P(D | H_i)P(H_i)} \quad (2.9)$$

仮説が連続的である場合には、ベイズの定理は式(2.10)となる。

$$f(\theta | D) = \frac{P(D | \theta)f(\theta)}{\int P(D | \theta)f(\theta)d\theta} \quad (2.10)$$

θ は連続的な仮説であり，ベイズ推定では推定対象母数のベクトルである．

2.3 ベイズ推定の手順

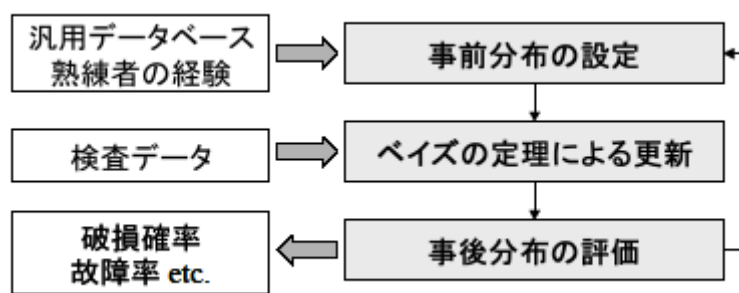


Fig. 2-4 Process of Bayes'

Fig. 2-4 はベイズ推定の手順を示したものである．以下，各手順について順に解説する．

2.3.1 事前分布の設定

ベイズ推定では，初回の推定前に推定する母数に対する予測を立て，この予測をもとに母数の確率分布である事前分布を与える．この分布は，主観的に決めることなので画一的に決まるものではない．客観的手続きで決めることではないので，確率というよりは確信度と呼ぶ方が適当である[8]．以後，新たな情報を得るたびに，前回の事後分布を事前分布として更新していくことにより，母数の推定精度を高めていくことが出来る．この場合，初期の事前分布が適切であれば，少ないデータから母数推定を比較的精度良く行うことが出来る．

対象機器から得られた検査データ以外の事前情報が存在する場合，この情報をもとに初期の事前分布を与えることが考えられる．事前情報としては，類似の機器に共通して使えるデータベース，あるいは熟練者の経験に基づく情報などが考えられる．ベ

イズ推定では、通常の統計学的手法では利用できないこれらの事前情報を、事前分布として自然に推定に利用することができる。

2.3.2 ベイズの定理による更新

式(2.10)に示したベイズの定理を用いて、事前分布 $f(\theta)$ と尤度 $P(D|\theta)$ から事後分布を求める。尤度 $P(D|\theta)$ は、母数がある値 θ をとるという条件のもとで、 D という事象が得られる条件付確率として計算できる。

2.3.3 事後分布の評価

事後分布をもとに、母数を推定する。母数の点推定を行いたい場合には、事後分布の確率密度が最も大きい点(最頻値)を採用することが考えられる。母数の区間推定を行いたい場合には、事後分布から確信区間を求める。 $100 \times (1-k)\%$ 確信区間は、Fig. 2-5 に示すように、母数の事後分布の両端から $100 \times k/2\%$ の区間を除いた、中央部の区間である。

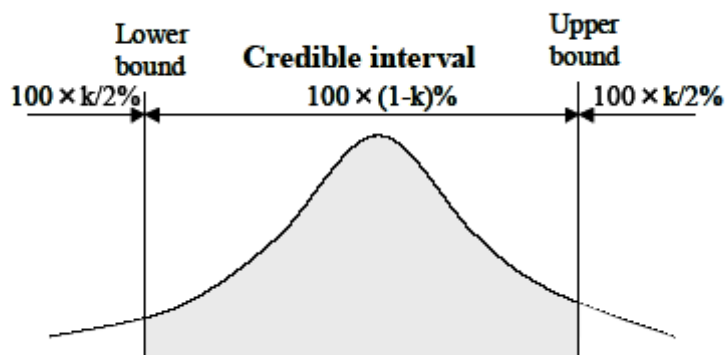


Fig. 2-5 $100 \times (1-k)\%$ credible interval

第 3 章 故障率の解析

3.1 緒言

本章では、第2章で示した信頼性工学の理論とベイズ統計の手法を用いて、具体的に各機器の故障率を算出していく。

はじめに、日本海事協会による論文「開発した世界初となる船用機関・機器を含めた回転機械のRBMシステムの概要」[9]を参考にした解析を行っていく。この解析では、故障率を指数関数でモデル化し、各機器の検査データを基に1母数をベイズ統計の手法で推定し、故障率の算出を行う。

続いて、上記の論文の考え方を発展させ、推定する母数を2つに増やして故障率の算出を行う。

3.2 評価の対象および故障の定義

本研究で対象とした設備は、JAXA 種子島宇宙センター高圧ガス貯蔵供給所(HGS)のGHe供給系設備である。高圧ガス貯蔵供給所のGHe供給設備では、液体ヘリウムが気化・昇圧され、高圧のヘリウムガスが製造・貯蔵される。Fig. 3-1にその概要を示す。また、製造されたヘリウムガスの主な用途は、ロケット気蓄器充填や液体水素系配管等ページであり、VAB(大型ロケット組み立て塔)やLP1(第1射点：ロケットの打ち上げ場所)に供給される。ロケット組み立て期間中にヘリウムガスのVABへの供給が止まれば、ロケットが損傷する恐れがある。また、打ち上げ当日にLP1への供給が止まれば、打ち上げが遅延される。このように、高圧ヘリウムガスの安定した供給はロケットの打ち上げに必要不可欠である。

故障率の算出に用いるデータは、種子島宇宙センターにおいて蓄積された1998年度から2007年度までの保全手順書[10]を基にする。この保全手順書には、対象範囲にある機器の過去の定期検査データ、ヘリウムガスの製造記録、機器の不具合記録が載っている。

対象範囲内にある構成機器の種類と数、それぞれの故障モードをまとめたものがTable 2-2である。なお、今回の解析においては、機器ごとの故障率の評価を行うため、故障モードごとの区分けはしない。なぜなら、メンテナンスにおいて欲しい情報は故障の有無であり、加えて故障モードごとの故障報告データは、極端に少なくなるためである。従

って、これらの確認された故障モードに加え、機器の機能が失われた状態を全て故障と定義して解析を進めていく。

なお、全く検査がなされていなかったり、検査データが全くなかったりする機器については、類似の機器によるデータを用いることや適切な仮定をすることをして解析を行った。

具体的には、以下のような仮定をおいた。

- ・内部流体が He の逆止弁およびフィルタについては、気密漏洩点検において機器の記録項目はなかったが、配管ラインの気密点検をする際に合わせて点検が行われているとみなし、不具合報告がなければ検査に合格したとみなした。
- ・温度計の校正・点検作業で、報告書の項目に載っていない機器については、同じシステム内の温度計が校正・点検されている場合は、合わせて校正・点検が行われたとみなし、不具合報告がなければ検査に合格したとみなした。
- ・スイッチ類に関しては、全て圧縮機で使用されているので、圧縮機を更新した 2003 年度から使用を開始したものとした。また、圧縮機の開放点検時に検査が行われ、その際に不具合報告がなければ、検査に合格したとみなした。
- ・その他、圧縮機の内部の機器については、開放点検時に不具合報告がなければ検査に合格したとみなす。
- ・C-3005 圧縮機の開放点検における交換機器の記録がなかったが、交換機器は C-3004 圧縮機の開放点検時と同じであると仮定する。たとえば、C-3005 圧縮機内にある逆止弁の HCV-3329,HCV-3330 の交換したという記録はなかったが、C-3004 圧縮機において同等の役割をしている HCV-3327,HCV-3328 の交換は行われたため、HCV-3329,HCV-3330 は交換が行われたとみなす。

また、配管ラインに関する取り扱いを述べる。今回、対象範囲の配管を複数のユニットラインに分けた上で、それぞれのラインを 1 つの要素として取り扱った。しかし、1 つのラインは複数の継ぎ手部を有しており、検査においてはそれぞれの継ぎ手部において漏洩があるか否か等が調べられている。よって、配管ラインは継ぎ手部の数の機器をグルーピングした要素と考えて更新を行っていく。なお、各ラインの有する継ぎ手部の数は Table 3-2 のとおりである。また、継ぎ手部の数が計測不能であった、C-3004 圧縮機ライン、C-3005 圧縮機ライン、移充填装置ライン、気蓄器系貯気槽ラインは、継ぎ手部の数はそれぞれ 80, 80, 10, 20 であると仮定した。

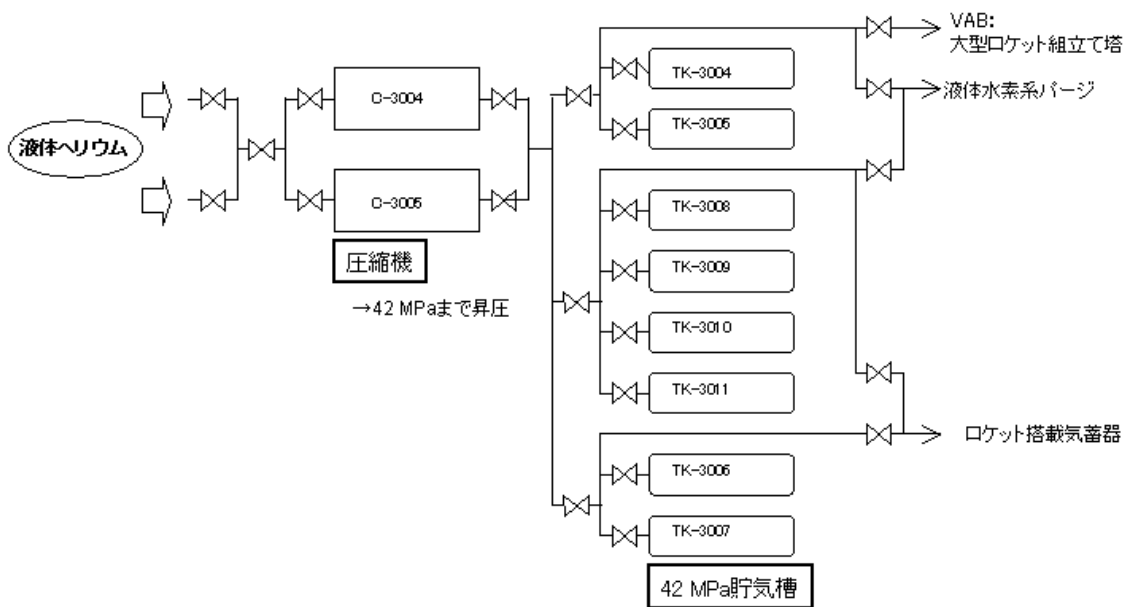


Fig. 3-1 System of HGS

Table 3-1 Elements and their failure modes

機器種類	数	故障モード	確認された故障モード
手動弁	176	外部漏洩	グランドパッキンの劣化
			継手部のシール劣化
			継手部のクラック
			弁箱(ボディー)のクラック及びピンホール
		内部漏洩	弁体の不良
		開閉不良	ハンドルの硬化
			軸受け部の硬化
		破断・折損	弁棒(ステム)の折損
		ハンドルロックナットの破断	
気体作動弁	8	漏洩	シートの劣化
			グランドパッキンの劣化
		内部漏洩	内部シールの劣化
		開閉不良	駆動部の不良(引っかかり等)
			駆動圧力の低下
			ステムの不良
減圧弁	8		弁体の引っかかり
		漏洩	継手部のシール劣化
			継手部のクラック
		内部漏洩	シール不良
	調圧不良	シール不良による内部漏洩	
		弁体、弁座の不良	
逆止弁	11		
安全弁	24	作動不良	弁体、弁座の不良
			設定不良
			設定圧力以下の圧力での作動
		漏洩	弁座漏洩
圧力計	42		作動前の前漏れ
		指示不良	内部ボルト脱落
			針の動きに引っかかり
			振動による等による指針の脱落
	外観不良	塗装の剥離	
温度計	28	指示不良	
圧力発信器	13	精度外れ	発信器本体の不良
			信号変換器の不良
		表示部の不良	画面が見にくい
温度発信器	12	精度外れ	熱伝対の不良
配管	17	外部漏洩	溶接部のクラック、ピンホール
			継手部のクラック
スイッチ類	24		
フィルタ	14		
タンク	8		
その他	74		

Table 3-2 The Number of connecting points

ライン	継ぎ手
圧縮機吸入ライン	103
圧縮機吐出ライン	10
C-3004圧縮機ライン	80
C-3005圧縮機ライン	80
一般パージ系貯気槽ライン	11
共通系貯気槽ライン	28
気蓄器系貯気槽ライン	20
TK-3004ライン	14
TK-3005ライン	18
TK-3006ライン	19
TK-3007ライン	13
TK-3008ライン	15
TK-3009ライン	14
TK-3010ライン	17
TK-3011ライン	18
回収ライン	27
移充填装置ライン	10

3.3 故障率のモデル化

本研究の故障率の評価においては、磨耗故障に着目し、時間経過とともに故障率が増加していくものとしてモデル化を行い、指数関数で近似をする。すなわち、故障率 $\lambda(t)$ は機器の使用年数 t の関数として

$$\lambda(t) = a \exp(bt) \quad (3.1)$$

と表す。ここで、 a, b は機器ごとに異なる数となる。ただし、 a, b はともに0より大きな値である。各機器の故障率を求めるためには、 a, b を推定する必要がある。

一方、 t 年迄に故障する確率を $F(t)$ とすると、第2章 2.1.1項 式(2.5)より、

$$\lambda(t) = \frac{dF(t)/dt}{1-F(t)} \quad (3.2)$$

の関係が成り立つ。式(3.2)の微分方程式に式(3.1)を代入し、変数分離すると、

$$\frac{dF}{1-F} = a \exp(bt) dt \quad (3.3)$$

となる。両辺を 0 から t まで積分すると、 $F(0) = 0$ より、

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\frac{a}{b}\{\exp(bt) - 1\}\right] \quad (3.4)$$

となる。

また、第 2 章 2.1.1 項 式(2.3) に式(3.4)を代入することで、寿命の密度分布関数 $f(t)$ について、

$$f(t) = a \exp\left[-\frac{a}{b}\{\exp(bt) - 1\} + bt\right] \quad (3.5)$$

を得る。

3.4 事前分布の設定方法

3.4.1 最小二乗法による近似

得られたデータから、使用年数のわかるデータを抽出し、同種の機器ごとにまとめた。得られたデータの一つとして、安全弁の故障・検査履歴表を Table 3-2 に示す。この表は、各年度において、使用中の故障および検査時の故障があった場合には「1」を、検査を行い合格した場合は「0」を入れ、検査がなく故障も報告されなかった場合には空欄にするようにして作成した。機器は、故障があった場合には交換され、それ以外のときは使用され続ける。このデータは 1998 年以前の情報はなく、各機器が 1998 年以前のいつから使用をはじめたのか不明である。そこで、各機器のうち、使用年数がわかる 1998 年度以降に故障をしてから新しく交換された機器のデータを抽出した。例えば、Tag No. HRV-3320 を例にとって考えると、2000 年度と 2003 年度に故障が報告されている。2000 年度まで使用された安全弁の使用年数はわからないが、それ以降の機器は 3 年間使用されて故障し、さらに 4 年間使用されていることになる。

このように、得られたデータから使用年数のわかるデータを抽出し機器ごとにまとめると Table 3-3～Table 3-5 のようになる。故障率は、その年度における故障機器数を機器数で割った値である。

この値の分布が、指数関数 $\lambda(t) = a \exp(bt)$ に従うと仮定し、 a と b の値を最小二乗法で近似した。その結果が、Fig. 3-2～Fig. 3-4 である。近似の結果は、手動弁は $a = 0.1$ 、 $b = 0.17$ 、安全弁は $a = 0.019$ 、 $b = 0.59$ 、機器全体は $a = 0.4$ 、 $b = 0.39$ となった。

Table 3-3 Data of Failure and Inspection for Safety Valve

Tag No.	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
RV-3301		0		0		0		0		0
RV-3302		0		0		0		0		0
HRV-3320	0	0	1	0		1		0		
HRV-3321	0	0	0	1		1		1		
HRV-3322	0	0	1	0		0		1		1
HRV-3323	0	0	0	1		0		0		1
HRV-3324	0	0	0	0		0		0		0
HRV-3325	0	1	1	0		0		1		0
HRV-3326	0	1	0	0		0		1		0
HRV-3327	0	0	0	0		0		0		0
HRV-3328	0	0	0	0		0		0		
HRV-3329	0	1	0	0		0		0		0
HRV-3330	0	0	0	0		0		0		0
HRV-3331	0	0	0	0		1		0		1
HRV-3334	0	0	0	0		0		0		1
HRV-3335	0	0	0	0		0		0		0
HRV-3336	0	0	0	0		0		0		0
HRV-3337	0	0	0	0		0		0		0
RV-3338						0		0		0
RV-3339						0		0		0

Table 3-4 Failure data of manual valves

使用年数	0	1	2	3	4	5	6
機器数	64	64	26	12	5	4	3
故障機器数	0	18	4	1	1	1	0
故障率	0	0.28125	0.153846	0.083333	0.2	0.25	0

Table 3-5 Failure data of safety valves

使用年数	0	1	2	3	4	5	6
機器数	17	17	16	10	9	5	3
故障機器数	0	1	3	1	1	2	2
故障率	0	0.058824	0.1875	0.1	0.111111	0.4	0.666667

Table 3-6 Failure data of all elements

使用年数	0	1	2	3	4	5	6
機器数	126	126	87	40	32	10	7
故障機器数	0	19	8	2	3	3	2
故障率	0	0.150794	0.091954	0.05	0.09375	0.3	0.285714

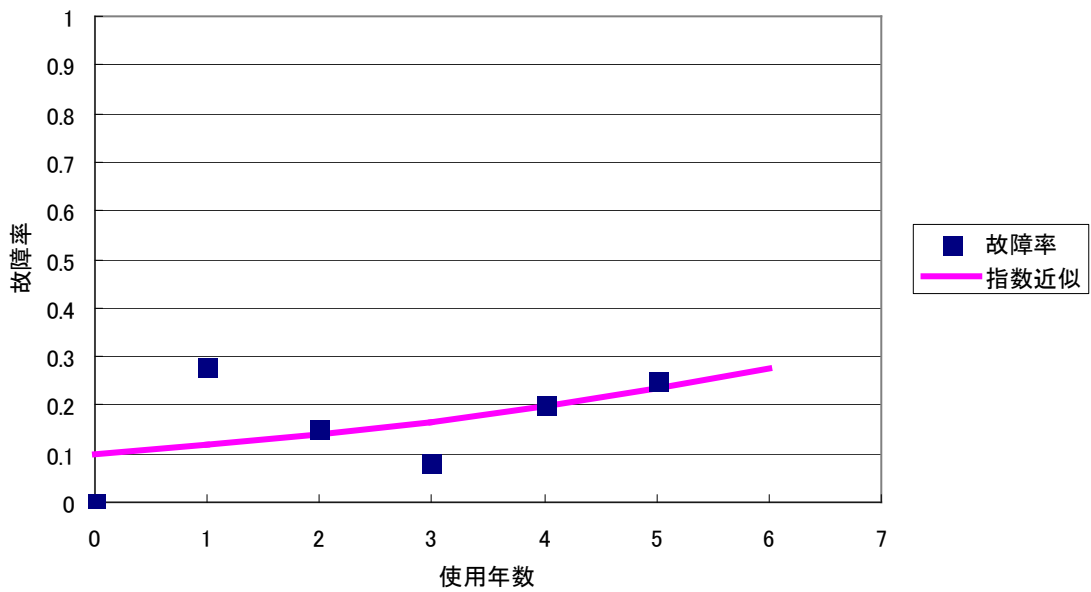


Fig. 3-2 Approximate expression of manual valves

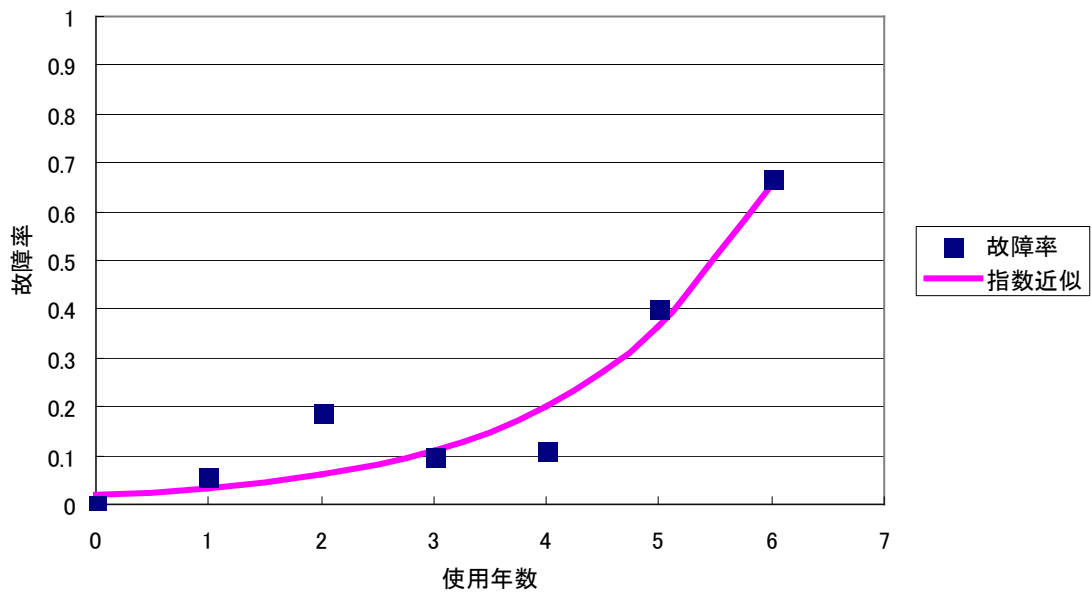


Fig. 3-3 Approximate expression of safety valves

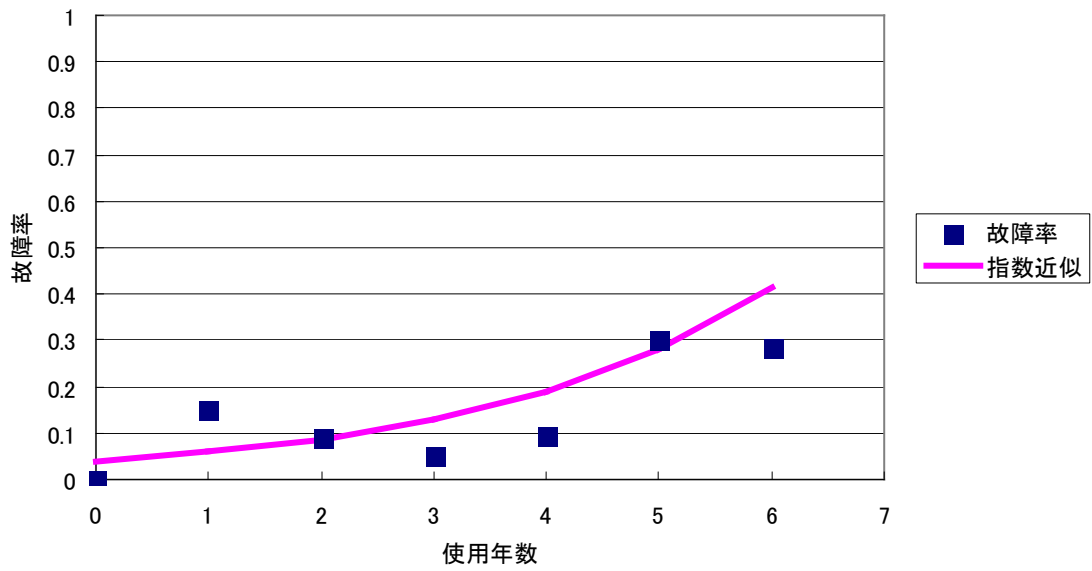


Fig. 3-4 Approximate expression of all elements

3.4.2 標準偏差の設定

本研究では、推定する母数 a, b の確信度の事前分布を正規分布として与えることとする。正規分布の密度関数は、

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.6)$$

であり、平均 μ と標準偏差 σ を与えれば一義的に決定される。正規分布の平均の値は、前節の最小二乗法で近似して求めた a, b 値を用いる。標準偏差は、分布が平均からどれだけばらけているかを示す値である。標準偏差が大きいと、分布は平均から大きくばらけて広範囲に広がり、標準偏差が小さいと、平均からあまりばらけずに平均の周りに集まる(Fig. 3-5)。 a, b は、時間経過とともに故障率が増加するというモデルから、ともに 0 より大きい範囲の値となる。つまり、0 以下は切り取ることとなる。そこで、0 以下の切り取る範囲を 2.5%以下にするように標準偏差の設定を行った、これはすなわち、分布の 95%信頼区間が必ず正の部分になることを意味する。

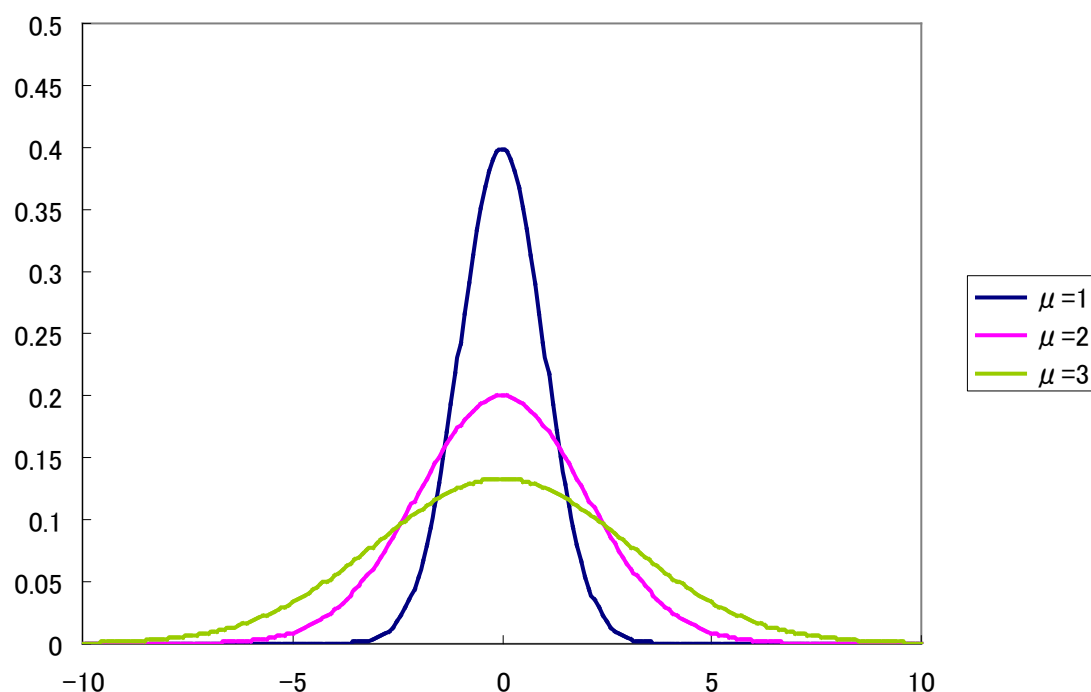


Fig. 3-5 Normal Distribution

3.5 1 母数の推定による故障率の解析

3.5.1 解析手法

Fig. 3-6 に解析の流れ図を示す。以下，流れに沿って解説を行う。

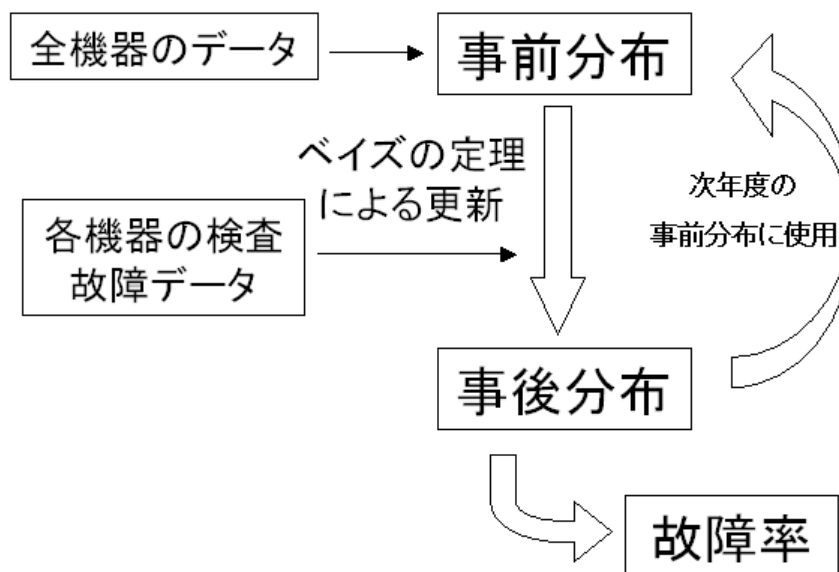


Fig. 3-6 Flowchart

故障率の定義式，式(3.1)

$$\lambda(t) = a \exp(bt) \quad (3.1)$$

のうち a のみを確率変数とみなし，前節で設定した事前分布を基に，各機器の a の値を推定し，故障率を算出する。このとき， b は前節で求めた近似値で一定であると仮定する。このような，1 母数の推定による故障率算出は，日本海事協会による論文「開発した世界初となる舶用機関・機器を含めた回転機械の RBM システムの概要」[9] を参考にしたものである。

設定した事前分布を年度ごとの検査データ・故障報告でベイズの定理を用いて更新していく。このとき，更新された事後分布は，その年度における a の推定に用いるとともに，次年度の更新における事前分布として用いる。

ベイズの定理で更新する際は，尤度関数 $P(D|a)$ を考えなければならない。今回の場合，検査により得られるデータ D は，前回の検査から今回の検査までの期間内に，故障が発生しなかった事象(safety)と故障が発生した事象(failure)の二通りが考えられ

る.

t_{i-1} 年目までの検査で故障が発見されず、 t_i 年目の検査でも故障が発見されないときの尤度関数は、

$$\begin{aligned} P(\text{safety} | a) &= 1 - F(t_i) \\ &= \exp\left[-\frac{a}{b}\{\exp(bt_i) - 1\}\right] \end{aligned} \quad (3.7)$$

となる。また、 t_{i-1} 年目までの検査で故障が報告されず、 t_i 年目の検査で故障が起きた場合の尤度関数は、

$$\begin{aligned} P(\text{failure} | a) &= F(t_i) - F(t_{i-1}) \\ &= -\exp\left[-\frac{a}{b}\{\exp(bt_i) - 1\}\right] + \exp\left[-\frac{a}{b}\{\exp(bt_{i-1}) - 1\}\right] \end{aligned} \quad (3.8)$$

となる。

更新された事後分布から a の値を点推定する。すなわち、分布中の最頻値を a として故障率を求める。また、使用年数については、1998 年以前のデータが全くないため、全ての機器が 1997 年度に使用開始されたと仮定して解析を行った。また、故障が報告された場合、機器は交換されることになるので、使用年数もリセットし、その年度を使用開始年度として故障率の算出をした。

3.5.2 解析結果

安全弁の HRV-3320, HRV-3324, HRV-3329 に対する a の分布の変化を Fig. 3-7~Fig. 3-9 に示す。また、このうち HRV-3320 の故障率の時間変化を Fig. 3-10 に示す。なお、各機器の検査・故障データについては Table 3-2 を参照。

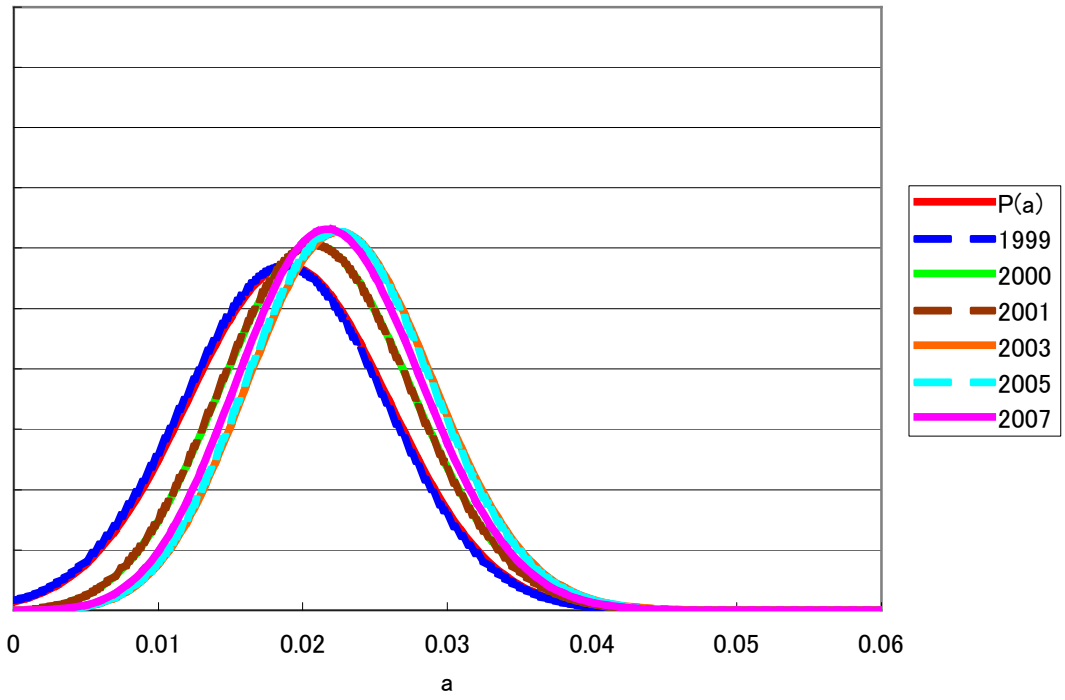


Fig. 3-7 Update of "a" Distribution : HRV-3320

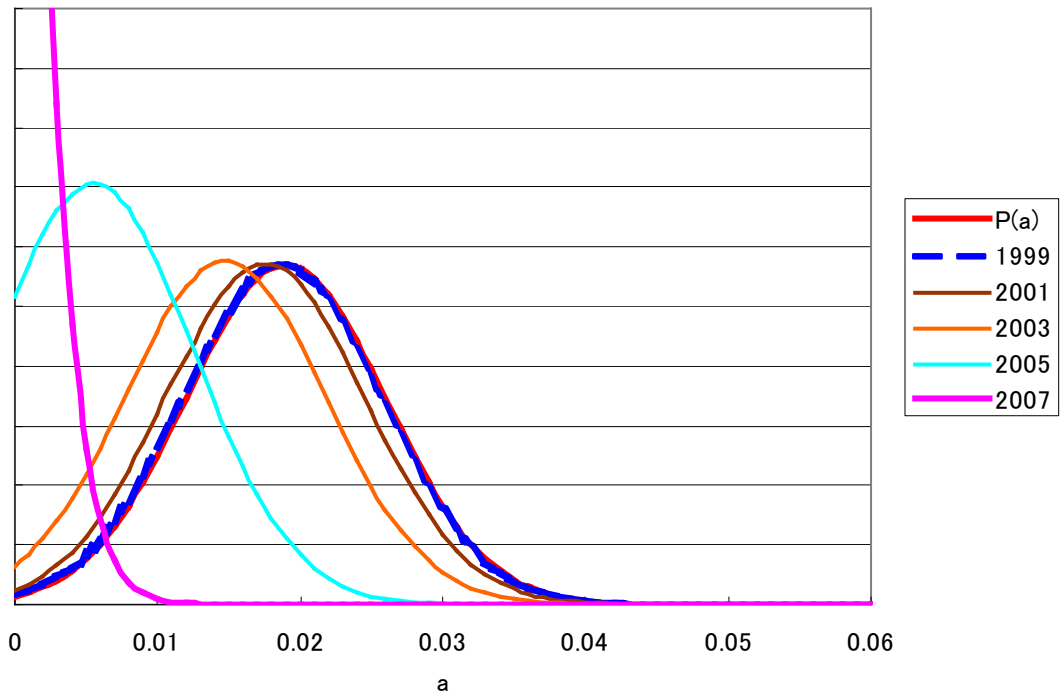


Fig. 3-8 Update of "a" Distribution : HRV-3324

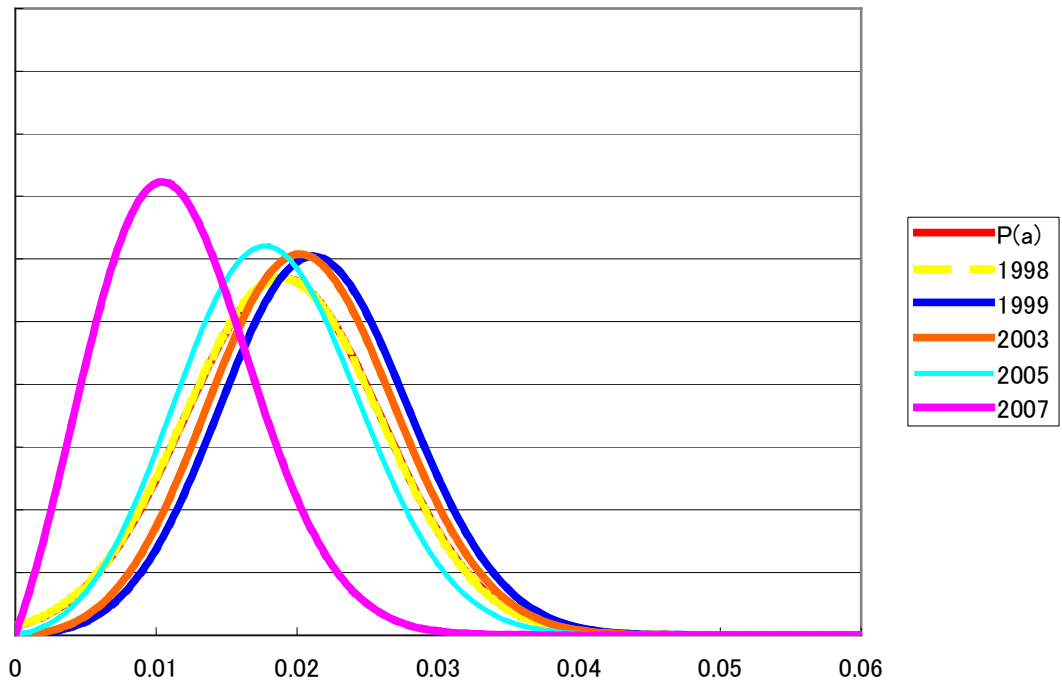


Fig. 3-9 Update of "a" Distribution : HRV-3329

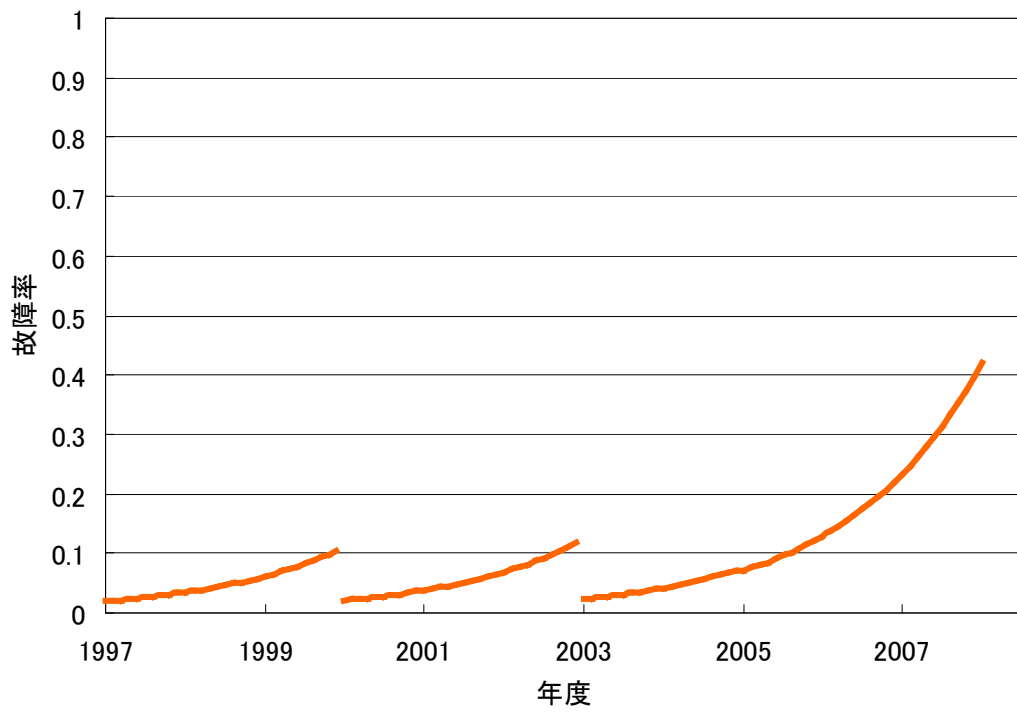


Fig. 3-10 Failure rate of HRV-3320

3.5.3 考察と問題点

全ての更新について、分布の最高点が高くなっていることが言える。これは、更新を繰り返すことでより確信度が高まっていき、それとともに確信区間が狭まっていくことを意味する。

最頻値に着目すると、故障が確認された場合は a の値の大きい方に分布が移動したことがわかる。HRV-3320 の 2000 年度の更新、2003 年度の更新、HRV-3329 の 1999 年度の更新がこれにあたる。一方、それ以外の更新、すなわち「故障なし」の情報での更新の場合は、 a の分布は小さい方に移動した。 a が大きい値になれば故障率も高くなり、 a が小さい値になれば故障率も低くなる。つまり、「故障あり」のデータで故障率は高い方に更新され、「故障なし」のデータで故障率は低い方向に更新されたことがわかる。

Fig. 3-8 の HRV-3324 の更新を見ると、全て「故障なし」のデータであり、分布は a の低い方向に推移している。しかし、2007 年度の分布を見ると、分布が過度に低い方向に推移してしまい、分布の”山”の形が崩れてしまっている。10 年間で故障の結果が一度もないと、 a の分布の最頻値が 0 になってしまい故障率が常に 0 になってしまう。つまり、故障率が定まらなくなってしまう。この問題を解消するためには、 a とともに b を確率変数とみなし推定していく必要がある。

3.6 2母数の推定による故障率の解析

3.6.1 解析手法

故障率の定義式，式(3.1)

$$\lambda(t) = a \exp(bt) \quad (3.1)$$

のうち a, b の2母数を確率変数とみなし，前節で述べた方法で設定した事前分布を基に各機器の a, b の値を推定する．推定した a, b の値と使用年数を式(3.1)に代入することで故障率を算出する．このような2母数の推定は日本海事協会による論文「開発した世界初となる舶用機関・機器を含めた回転機械のRBMシステムの概要」[9]の考え方を発展させたものである．

事前分布として， a, b の2次元で分布を与える． a, b が独立であると仮定したとき，密度関数は，

$$P(a, b) = Q(a)R(b) \quad (3.9)$$

と表される． a の分布 $Q(a)$ ， b の分布 $R(b)$ は，それぞれ前節で述べた方法で設定した正規分布とする．設定した事前分布を年度ごとの検査データ・故障報告でベイズの定理を用いて更新していく．このとき，更新された事後分布は，その年度における a, b の推定に用いるとともに，次年度の更新における事前分布として用いる．

ベイズの定理で更新する際は，尤度関数 $P(D | a, b)$ を考えなければならない．今回の場合も，検査により得られるデータ D は，前回の検査から今回の検査までの期間内に，故障が発生しなかった事象 (safety) と故障が発生した事象 (failure) の2通りが考えられる．

t_{i-1} 年目までの検査で故障が発見されず， t_i 年目の検査でも故障が発見されないときの尤度関数は，

$$\begin{aligned} P(\text{safety} | a, b) &= 1 - F(t_i) \\ &= \exp\left[-\frac{a}{b} \{\exp(bt_i) - 1\}\right] \end{aligned} \quad (3.10)$$

となる．また， t_{i-1} 年目までの検査で故障が報告されず， t_i 年目の検査で故障が起きた場合の尤度関数は，

$$\begin{aligned} P(\text{failure} | a, b) &= F(t_i) - F(t_{i-1}) \\ &= -\exp\left[-\frac{a}{b} \{\exp(bt_i) - 1\}\right] + \exp\left[-\frac{a}{b} \{\exp(bt_{i-1}) - 1\}\right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

となる．

また， n 個の複数の機器をまとめて1つの系として故障率を求めようとする場合を

考える。この時、系全体としては、機器の数の分だけ、すなわち n 個の検査結果が得られることになる。この場合には、各機器 i の尤度 $P_i(D|a,b)$ の相乗平均をもって $P(D|a,b)$ とする。すなわち、

$$P(D|a,b) = \prod_{i=1}^n P_i(D|a,b)^{\frac{1}{n}} \quad (3.12)$$

とする。

更新された事後分布から a, b の値を点推定する。すなわち、分布の最頻値を a, b として故障率を求める。使用年数については、1998 年以前のデータが全くないため、全ての機器が 1997 年度に使用開始されたと仮定して解析を行う。また、故障が報告された場合、機器は交換されることになるので、使用年数もリセットし、その年度を使用開始年度として故障率の算出をする。また、故障と有無とは別に機器が交換された場合にも、使用年数をリセットする。なお、いくつかの機器をまとめて一つの系として故障率を算出するときは、機器の平均使用年数を系の使用年数として解析を行う。

3.6.2 解析結果

1 母数の推定では故障率が定まらなかった安全弁 HRV-3324 の a, b 初期分布と、2007 年度の更新による事後分布を Fig. 3-11, Fig. 3-12 に示す。また、この結果による HRV-3324 の故障率の時間変化を Fig. 3-13 に示す。なお、各機器の検査・故障データについては Table 3-2 を参照。

また、解析により得られた一部の機器に対する 2008 年度の故障率評価結果を Table 3-6 に示す。全機器の 2008 年度の故障率評価結果は付録 C を参照。

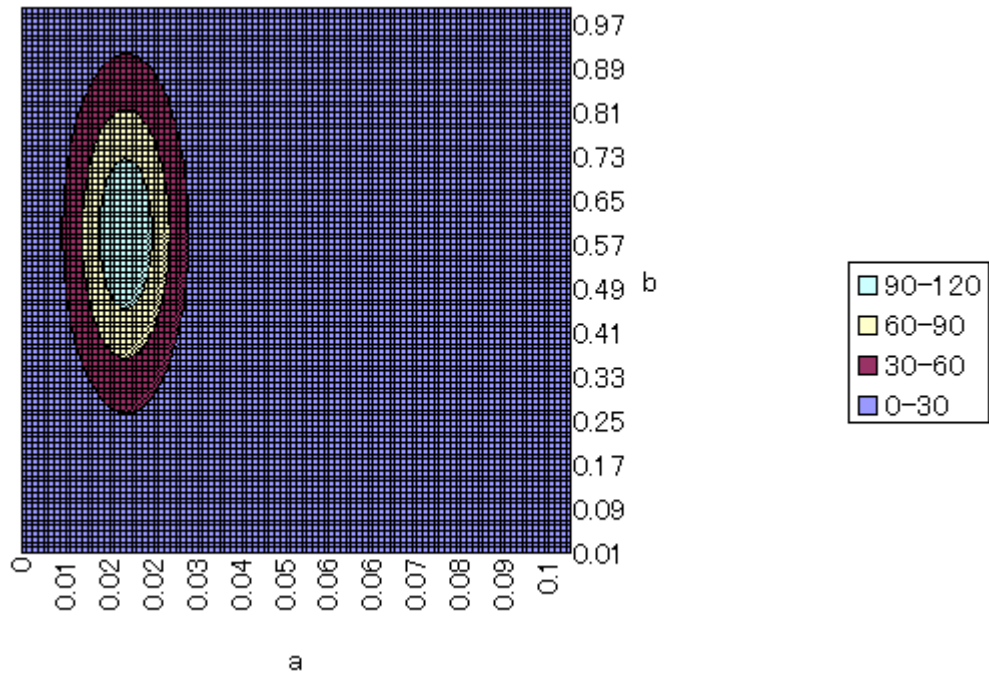


Fig. 3-11 1998 Prior Distribution

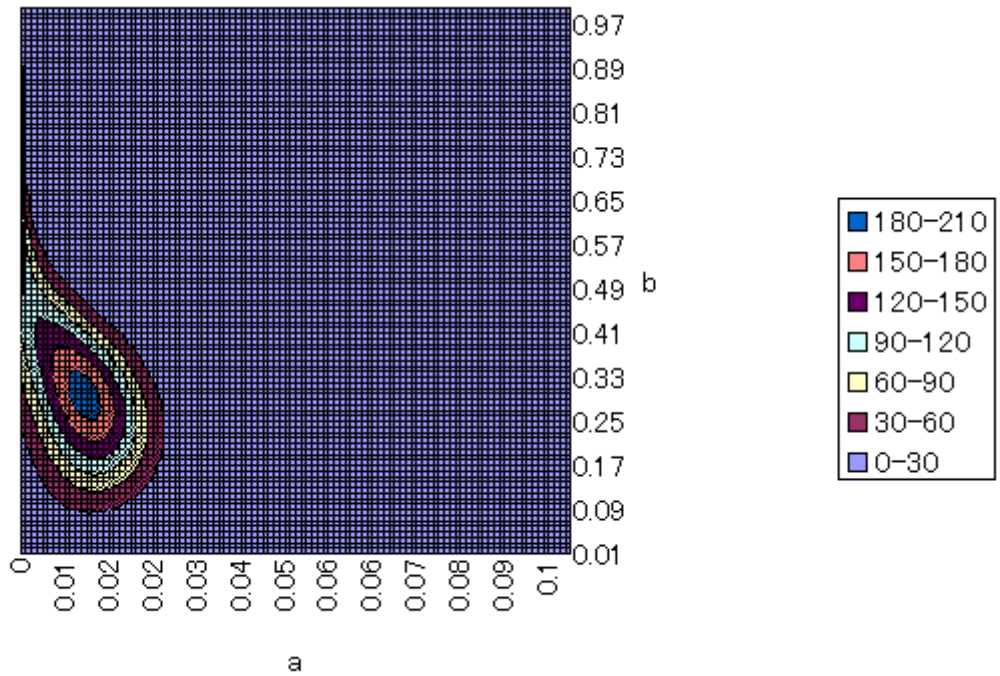


Fig. 3-12 2007 Posterior Distribution

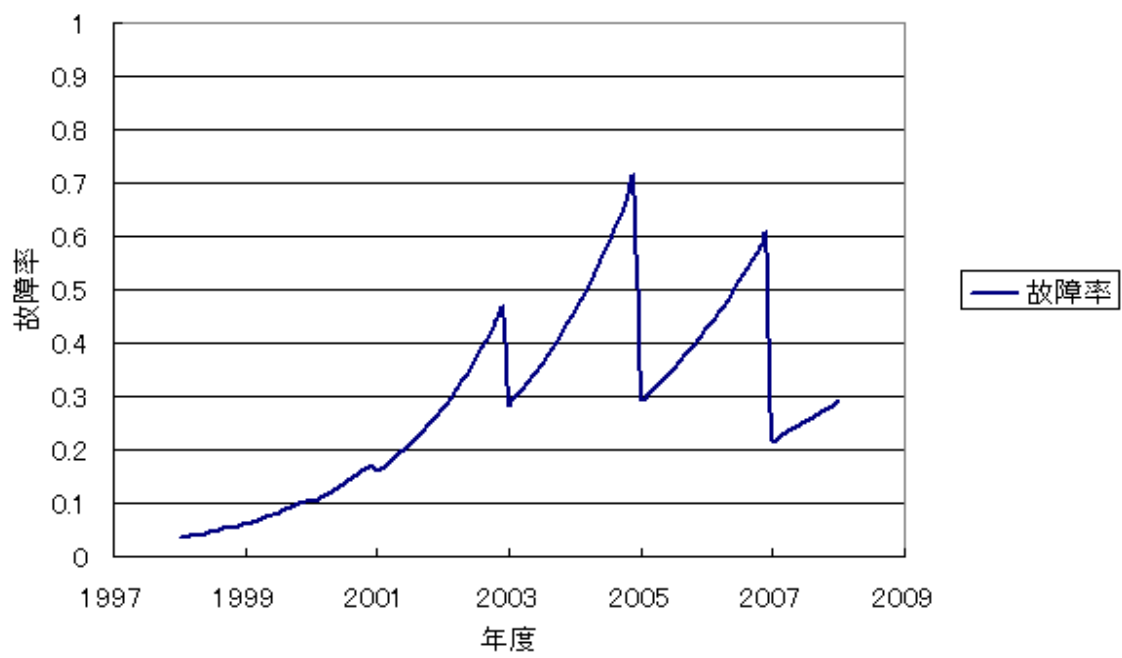


Fig. 3-13 Failure rate of HRV-3324

Table 3-7 Failure rate of all elements

要素	TAG No.	2008年故障率
Ghe受入元弁1	HMV-3301	0.135
Ghe受入元弁2	HMV-3302	0.306
Ghe送給元弁	HMV-3303	0.079
Ghe受入ラインベント弁1	HMV-3305	0.135
Ghe受入ラインベント弁2	HMV-3306	0.135
PG-3301元弁	HMV-3307	0.135
PG-3301元弁圧力校正ポート元弁	HMV-3308	0.135
Ghe受入フィルタ	HFL-3301	0.028
Gheカードル元圧	PX-3301	0.208
GHeカードル圧力計	PG-3301	0.226
Ghe圧縮機吸入元弁	HMV-3304	0.306
PG-3302元弁	HMV-3309	0.135
PG-3302圧力校正ポート元弁	HMV-3310	0.135
RV-3301元弁	MV-3311	0.079
PG-3303元弁	MV-3312	0.135
PG-3303圧力校正ポート元弁	MV-3313	0.135
RV-3302元弁	MV-3314	0.079
PG-3304元弁	MV-3315	0.135
PG-3304圧力校正ポート元弁	MV-3316	0.135
Ghe圧縮機吸入減圧弁1	HPR-3301D	0.135
HPR-3301用設定減圧弁	HPR-3301H	0.135
Ghe圧縮機吸入減圧弁2	PR-3302D	0.135
PR-3302用設定減圧弁	PR-3302H	0.135
吸入ライン安全弁1	RV-3301	0.291
吸入ライン安全弁2	RV-3302	0.291
吸入フィルタ	HFL-3302	0.130
Ghe圧縮機吸入圧力計1	PG-3302	0.097
Ghe圧縮機吸入圧力計2	PG-3303	0.218
Ghe圧縮機吸入圧力計3	PG-3304	0.253
Ghe圧縮機吸入圧	PX-3304	0.208
Ghe圧縮機吐出止弁1	HMV-3320	0.183
Ghe圧縮機吐出止弁2	HMV-3321	0.079
バイパス充填弁	HMV-3322	0.135
PX-3334元弁	HMV-3334	0.079
PX-3335元弁	HMV-3335	0.135
HRV-3320元弁	HMV-3336	0.079
HRV-3321元弁	HMV-3337	0.079
Ghe圧縮機吐出ラインベント弁1	HMV-3338	0.135

3.6.3 考察

故障率が定まらなかった機器 HRV-3324 更新について、分布は 1 母数のときと同様の最高点が高くなっている。更新を繰り返すことでより確信度が高まっていき、それとともに確信区間が狭まっていることを意味する。

最頻値に着目すると、すべて「故障なし」の情報での更新に対して、分布は a, b とともに小さい方に移動した。 a が大きい値であれば故障率も高くなり、 a が小さい値であれば故障率も低くなる。また、 b が小さい場合、故障率 $\lambda(t)$ の時間変化に対する増大の割合は緩やかになり、同じ a, t に対しては故障率が低くなる。つまり、「故障なし」のデータで、故障率は低い方向に更新されたことがわかる。

3.7 結言

本章では、前章で示した信頼性工学の理論とベイズ統計の手法を用いて、具体的に各機器の故障率を算出していった。

日本海事協会による論文「開発した世界初となる舶用機関・機器を含めた回転機械の RBM システムの概要」[9] を参考に、故障率の指数関数モデルのうち 1 母数を推定する手法で解析を行った。その上で、結果と問題点を明らかにし、2 母数を推定する手法によって故障率の算出を行った。

この手法、すなわち 2 母数の推定により故障率を算出する方法で、全ての機器についての故障率を明示することが可能となった。

第4章 リスクの評価

4.1 緒言

本章では、第3章で求めた故障率を対象範囲について行った影響度の評価と合わせることで、リスクの評価を行い、結果を示す。

はじめに、影響度の定量的な評価手法を概説する。

続いて、故障率と影響度を組み合わせることでリスクマトリクスを作成する。合わせて、対象範囲内の機器のリスクランキングを示す。

4.2 影響度の定量的評価手法

影響判定のための定量的評価方法を概説する。

機器の影響度評価を行ううえで、以下の事象に対する影響度を評価する。

- ①I/W 期間中(ロケットが大型ロケット整備組立塔(VBA)に入ってから打ち上げられるまでの期間中)、VBAへHeを供給できず、ロケット(機体)へのページ供給不可となり、ロケット(機体)が損傷する。
- ②ロケット打ち上げ当日、射点(LP1)へHeを供給できず、ロケット(機体)へのページ供給不可となり、打ち上げが遅延する。
- ③ロケット打ち上げ当日、射点(LP1)へHeを供給できず、気蓄器への供給不可となり、打ち上げが遅延する。
- ④I/W 期間中、貯気槽の加圧が出来ず、打ち上げ時の要求に満足できなくなり、打ち上げが遅延する。

これらの事象に対する機器の影響度をそれぞれ求めていった。

まず、影響度点数を以下の式(4.1)で定義する。

$$\text{影響度点数} = \text{影響度基本点数} \times \text{補正係数} \quad (4.1)$$

計算した影響度点数を0~1に正規化する。すなわち、全機器のうち最大の影響度点数で、各機器の影響度点数を割った点数を計算する。そして、機器の点数をA~Cまでの3段階に分けることで、各機器の影響度をランク付けする。

以下のTable 4-1にランクの点数を示す。

Table 4-1 Point Ranking

ランク	点数
A	1.0~0.66
B	0.66~0.33
C	0.33~0

4.2.1 影響度基本点

影響度点数を計算するためにはまず、機器の影響度基本点を算出しなければならない。以下に、その方法を説明する。

影響度評価を行ううえで、上記4つの各事象に対するFTAを作成し、それぞれの事象に関連するタスクおよび機器の洗い出しを行う。作成したFTAによって、洗い出したタスクの項目ごとに点数を決め、それらタスクで使用する機器の使用頻度を点数として加点する。機器の獲得得点の合計を、その機器の影響度基本点として評価する。なお、各タスクについては同時に実行されることもあるが、それらについては考慮しないこととする。例えば、「タンク①とタンク②からVBAへ同時にHeを供給するタスク」については、「タンク①からVBAへHeを供給するタスク」と「タンク②からVBAへHeを供給するタスク」として加点を行う。

Fig.4-1~Fig.4-4を用いてこの手法を説明していく。Fig.4-1はC-3004圧縮機を用いてTK-3004貯気槽に高圧ヘリウムガスを充填するタスクである。これに関連する機器に加点をする。Fig.4-2はC-3004圧縮機を用いてTK-3005貯気槽に高圧ヘリウムガスを充填するタスクである。このタスクに関連する機器については、先ほどの点数にさらに加点する。Fig.4-3はTK-3004貯気槽からVBA(大型ロケット組み立て塔)に高圧ヘリウムガスを供給するタスクである。このタスクに関連する機器についても、先ほどの点数にさらに加点する。Fig.4-4はTK-3005貯気槽からVBA(大型ロケット組み立て塔)に高圧ヘリウムガスを供給するタスクである。このタスクに関連する機器についても、先ほどの点数にさらに加点する。このようにして、全てのタスクについて使用する機器に加点していくことで、機器の影響度基本点として評価する。

本手法により、冗長系のないラインでは自動的に点数が加点され、また、全然関係のない機器においては点数が加点されないので、影響度を機械的に抽出することが出来る。

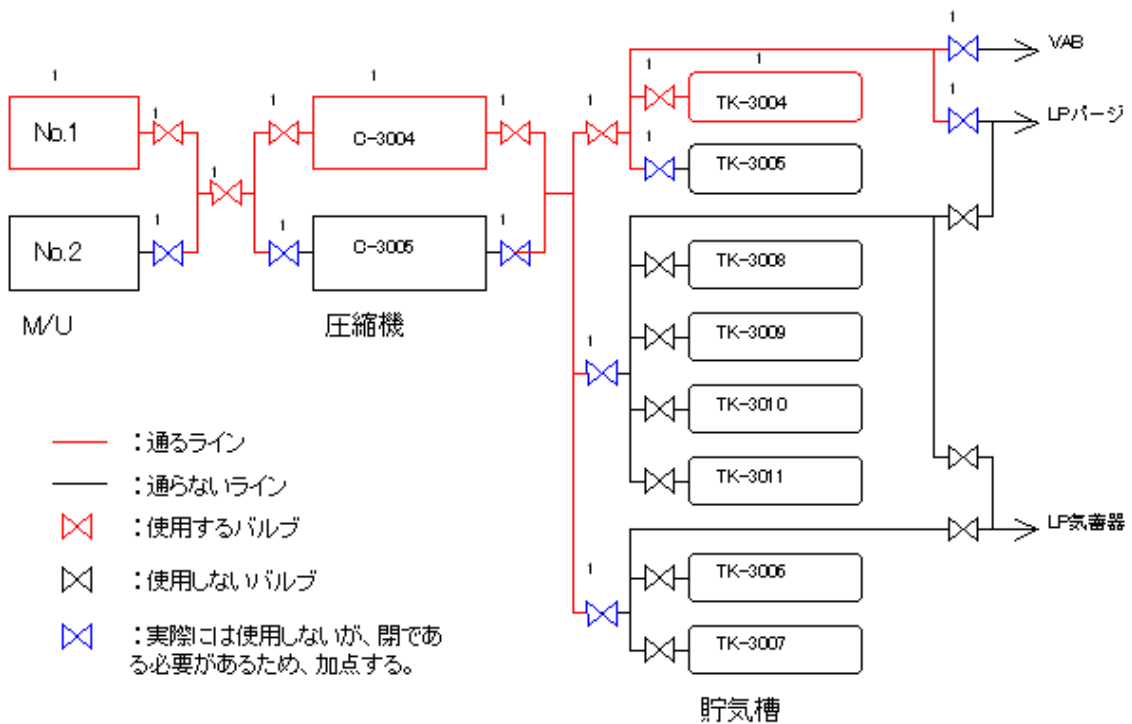


Fig. 4-1 Working Elements in supplying Gas He to tank "TK-3004" by using Compressor "C-3004"

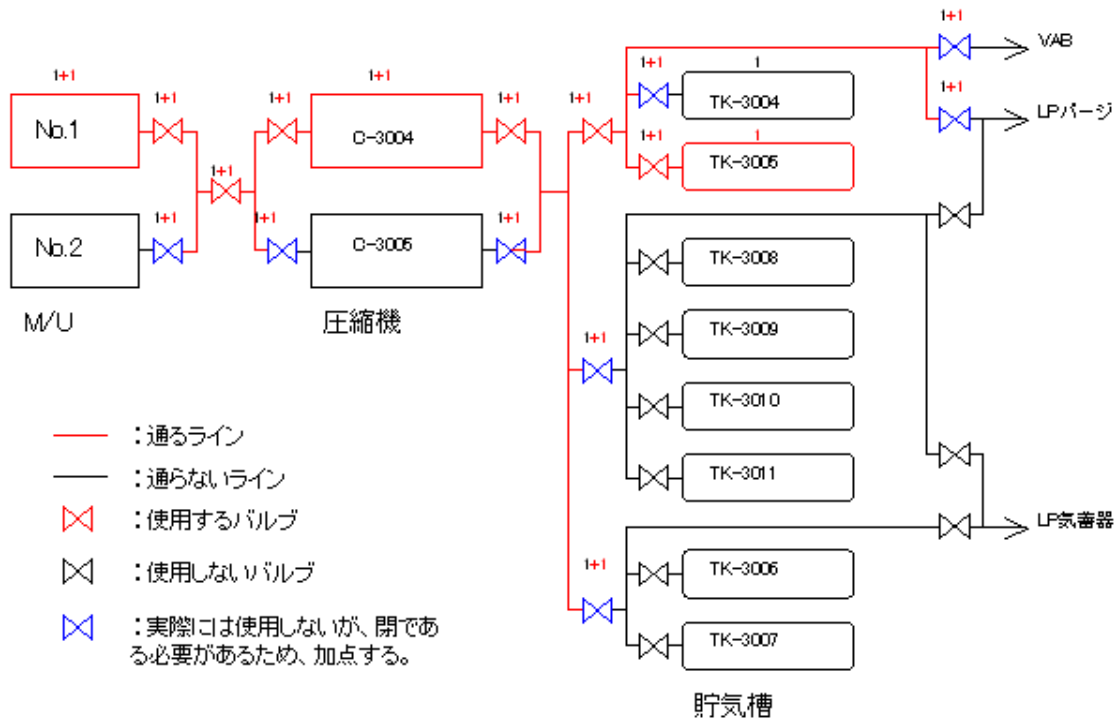


Fig. 4-2 Working Elements in supplying Gas He to tank "TK-3005" by using Compressor "C-3004"

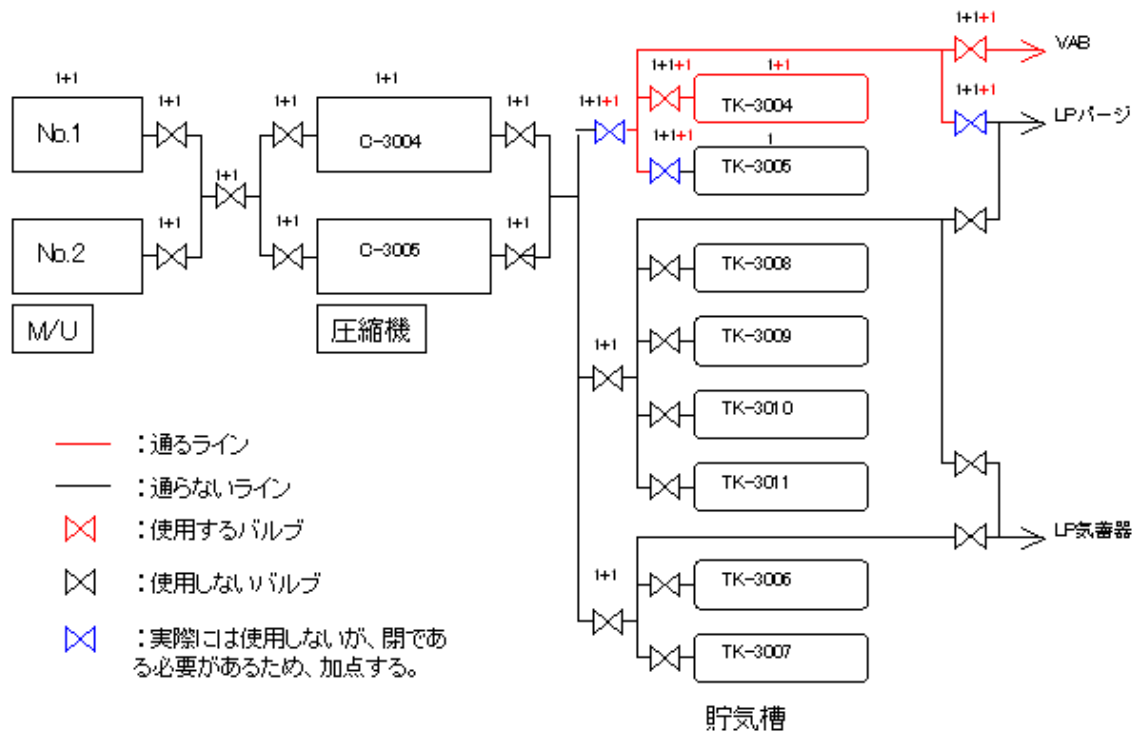


Fig. 4-3 Working Elements in supplying Gas He to VBA from tank “TK-3004”

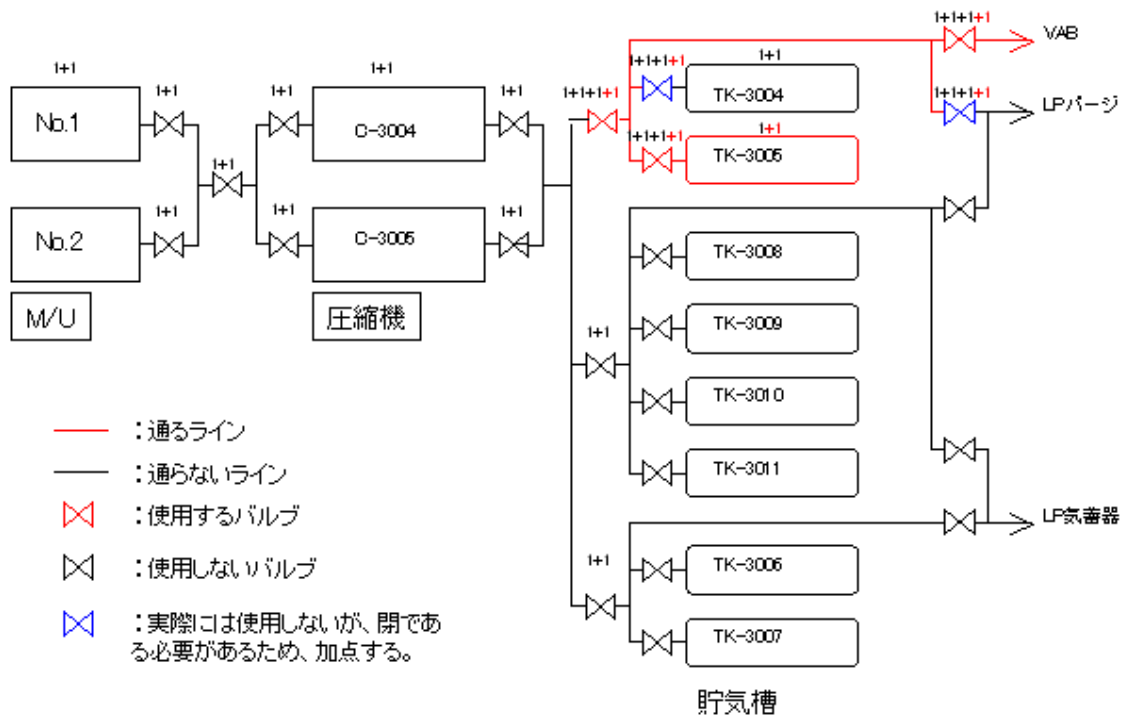


Fig. 4-4 Working Elements in supplying Gas He to VBA from tank “TK-3005”

4.2.2 補正係数

今回の評価方法では、同じラインにある機器は全て同じ評価になってしまう。このことを考慮し、「予備品の交換にかかる時間」を補正係数としてかけることで、それぞれの機器に対し影響度の差をつけることとする。

「予備品の交換にかかる時間」の考え方として、予備品があることを前提にして、普通の手動弁の交換における時間を基準として、それぞれ手動弁より交換し易いかし難いかでランク分けをし、係数を掛けることとする。以下 Table 4-2 に、各機器の係数を示す。

Table 4-2 Revising coefficients

機器別	ランク	係数
圧力計	1	0.6
温度計	1	0.6
圧力計元弁	1	0.6
ベント弁	1	0.6
校正ポート元弁	1	0.6
温度スイッチ	1	0.6
圧力スイッチ	1	0.6
フロースイッチ	1	0.6
安全弁元弁	2	0.8
バイパス弁	2	0.8
減圧弁ハンド	2	0.8
減圧弁ドーム	3	1.0
逆止弁	3	1.0
手動弁	3	1.0
安全弁	3	1.0
フィルタ	4	1.2
発信機	4	1.2
気体作動弁	4	1.2
機体作動弁バイパス	4	1.2
電磁弁	4	1.2
圧縮機の機器 2	4	1.2
大きい機体作動弁	5	1.4
貯気槽	5	1.4
圧縮機の機器 1	5	1.4
各ライン	5	1.4

4.2.3 総合評価

総合評価として、4つの事象に対して算出したランクの中で、何れかに「A」ランクが入っていれば「A」、何れかに「B」ランクが入っていれば「B」、全て「C」ランクの機器については「C」とする評価を与える。

リスクマトリクスの作成においては、影響度として総合評価を用いて作成する。

4.3 影響度評価の結果

以下 Table 4-3 に影響度の評価結果の一部を示す。全機器についてのリスクの評価結果は付録 B を参照。

Table 4-3 Consequence of each Element

要素	TAGNo.	VAB供給	LPパーシ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
GHe受入元弁1	HMV-3301	C	C	C	C	C
GHe受入元弁2	HMV-3302	C	C	C	C	C
GHe送給元弁	HMV-3303	C	C	C	A	A
GHe受入ラインベント弁1	HMV-3305	C	C	C	C	C
GHe受入ラインベント弁2	HMV-3306	C	C	C	C	C
PG-3301元弁	HMV-3307	C	C	C	C	C
PG-3301元弁圧力校正ポート元弁	HMV-3308	C	C	C	C	C
GHe受入フィルタ	HFL-3301	C	C	C	C	C
GHeカードル元弁	PX-3301	C	C	C	C	C
GHeカードル圧力計	PG-3301	C	C	C	C	C
GHe圧縮機吸入元弁	HMV-3304	C	C	C	A	A
PG-3302元弁	HMV-3309	C	C	C	B	B
PG-3302圧力校正ポート元弁	HMV-3310	C	C	C	B	B
RV-3301元弁	MV-3311	C	C	C	B	B
PG-3303元弁	MV-3312	C	C	C	B	B
PG-3303圧力校正ポート元弁	MV-3313	C	C	C	B	B
RV-3302元弁	MV-3314	C	C	C	B	B
PG-3304元弁	MV-3315	C	C	C	B	B
PG-3304圧力校正ポート元弁	MV-3316	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入減圧弁1	HPR-3301D	C	C	C	A	A
HPR-3301用設定減圧弁	HPR-3301H	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入減圧弁2	PR-3302D	C	C	C	A	A
PR-3302用設定減圧弁	PR-3302H	C	C	C	B	B
吸入ライン安全弁1	RV-3301	C	C	C	A	A
吸入ライン安全弁2	RV-3302	C	C	C	A	A
吸入フィルタ	HFL-3302	C	C	C	A	A
GHe圧縮機吸入圧力計1	PG-3302	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入圧力計2	PG-3303	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入圧力計3	PG-3304	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入圧	PX-3304	C	C	C	A	A
GHe圧縮機吐出止弁1	HMV-3320	B	C	C	B	B
GHe圧縮機吐出止弁2	HMV-3321	B	C	C	B	B
バイパス充填弁	HMV-3322	C	C	C	A	A
PX-3334元弁	HMV-3334	C	C	C	C	C
PX-3335元弁	HMV-3335	C	C	C	C	C
HRV-3320元弁	HMV-3336	C	C	C	C	C
HRV-3321元弁	HMV-3337	C	C	C	C	C
GHe圧縮機と出ラインベント弁1	HMV-3338	C	C	C	C	C
GHe圧縮機と出ラインベント弁2	HMV-3339	C	C	C	C	C
吐出ライン安全弁1	HRV-3320	C	C	C	B	B
吐出ライン安全弁2	HRV-3321	C	C	C	B	B
バイパス充填逆止弁	HCV-3320	B	C	C	A	A
C-3004吐出圧	PX-3334	C	C	C	B	B
C-3005吐出圧	PX-3335	C	C	C	B	B
C-3004吐出温度	TX-3303	C	C	C	B	B
C-3005吐出温度	TX-3304	C	C	C	B	B

4.4 リスクマトリクスの作成

第3章で求めた故障率と、4.2節で評価した影響度ランクを用いて、リスクマトリクスを作成する。横軸に影響度、縦軸に故障率をとり、Fig. 4-5に示すような3×3のリスクマトリクスを作成する。このマトリクスでは、それぞれ右方向、上方向にいくほどリスクが高くなっていく。マトリクスの9つの領域をリスクの高さによって3つに分ける。Fig. 4-5において、赤の領域は「リスク高」、黄色の領域は「リスク中」、緑の領域は「リスク低」として色分けをする。

故障率のランクの区切り方については、絶対的な数値はなく、いくつかの区切り方を検討した。具体的には、以下に示す3通りの区切り方を検討し、分布の状況から適切な区切り方を判断する。なお、Table 4-4で示した範囲は、「0~0.3」とある場合は0以上0.3未満である。

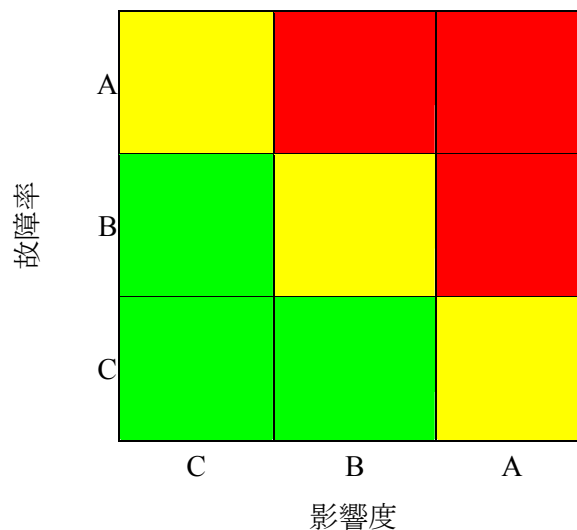


Fig. 4-5 Risk Matrix

Table 4-4 Ranking Pattern

	パターン 1	パターン 2	パターン 3
A ランク	0.67~1	0.7~1	0.7~1
B ランク	0.33~0.67	0.3~0.7	0.25~0.7
C ランク	0~0.33	0~0.3	0~0.25

4.5 リスク評価の結果

前節 Table 4-4 で示した，故障率の区切り方についての 3 つのパターンについて，それぞれリスクマトリクスを作成した．以下の Fig 4-6~Fig4-8 に，そのマトリクスの中にプロットされる機器の数を載せたマトリクスを示す．

リスクベースメンテナンスにおいて必要なのは，機器のリスクに順位をつけることである．従って，機器のリスクの順位がはっきりとすることの出来ない区切り方では，リスクベースメンテナンスに有効ではない．分布の状態から，パターン 3 の区切り方がリスクベースメンテナンスに適当であると考えられる．そこで，パターン 3 の場合にける機器のリスクリストの一部を Table 4-5 に示す．全機器のリスクリストについては，付録 C を参照．

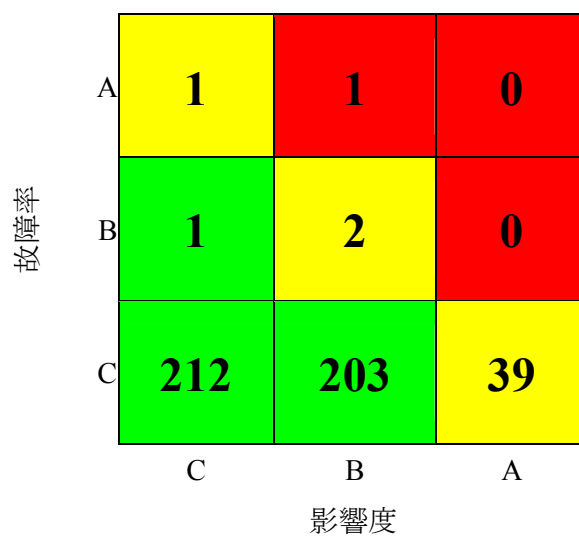


Fig. 4-6 Risk Matrix of Pattern 1

故障率	A	1	1	0
	B	4	4	1
	C	209	201	38
		C	B	A
		影響度		

Fig. 4-7 Risk Matrix of Pattern 2

故障率	A	1	1	0
	B	64	112	4
	C	149	93	35
		C	B	A
		影響度		

Fig. 4-8 Risk Matrix of Pattern 3

Table 4-5 Risk rank

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
Ghe受入元弁1	HMV-3301	0.135	C	C	低
Ghe受入元弁2	HMV-3302	0.306	B	C	低
Ghe送給元弁	HMV-3303	0.079	C	A	中
Ghe受入ラインベント弁1	HMV-3305	0.135	C	C	低
Ghe受入ラインベント弁2	HMV-3306	0.135	C	C	低
PG-3301元弁	HMV-3307	0.135	C	C	低
PG-3301元弁圧力校正ポート元弁	HMV-3308	0.135	C	C	低
Ghe受入フィルタ	HFL-3301	0.028	C	C	低
Gheカードル元圧	PX-3301	0.208	C	C	低
GHeカードル圧力計	PG-3301	0.226	C	C	低
Ghe圧縮機吸入元弁	HMV-3304	0.306	B	A	高
PG-3302元弁	HMV-3309	0.135	C	B	低
PG-3302圧力校正ポート元弁	HMV-3310	0.135	C	B	低
RV-3301元弁	MV-3311	0.079	C	B	低
PG-3303元弁	MV-3312	0.135	C	B	低
PG-3303圧力校正ポート元弁	MV-3313	0.135	C	B	低
RV-3302元弁	MV-3314	0.079	C	B	低
PG-3304元弁	MV-3315	0.135	C	B	低
PG-3304圧力校正ポート元弁	MV-3316	0.135	C	B	低
Ghe圧縮機吸入減圧弁1	HPR-3301D	0.135	C	A	中
HPR-3301用設定減圧弁	HPR-3301H	0.135	C	B	低
Ghe圧縮機吸入減圧弁2	PR-3302D	0.135	C	A	中
PR-3302用設定減圧弁	PR-3302H	0.135	C	B	低
吸入ライン安全弁1	RV-3301	0.291	B	A	高
吸入ライン安全弁2	RV-3302	0.291	B	A	高
吸入フィルタ	HFL-3302	0.130	C	A	中
Ghe圧縮機吸入圧力計1	PG-3302	0.097	C	B	低
Ghe圧縮機吸入圧力計2	PG-3303	0.218	C	B	低
Ghe圧縮機吸入圧力計3	PG-3304	0.253	B	B	中
Ghe圧縮機吸入圧	PX-3304	0.208	C	A	中
Ghe圧縮機吐出止弁1	HMV-3320	0.183	C	B	低
Ghe圧縮機吐出止弁2	HMV-3321	0.079	C	B	低
バイパス充填弁	HMV-3322	0.135	C	A	中
PX-3334元弁	HMV-3334	0.079	C	C	低
PX-3335元弁	HMV-3335	0.135	C	C	低
HRV-3320元弁	HMV-3336	0.079	C	C	低
HRV-3321元弁	HMV-3337	0.079	C	C	低
Ghe圧縮機と出ラインベント弁1	HMV-3338	0.135	C	C	低

4.6 結言

本章では、対象範囲内にある各機器のリスクを評価した。

はじめに、影響度の評価手法を示した。

故障率については、第 3 章で求めた数値を基に、ランク分けについての検討を行った。

最後に、影響度と故障率を組み合わせることによってリスクマトリクスを作成した。また、マトリクス上の領域を 3 段階にリスクランク分けすることで、各機器のリスクランクを示した。これにより、各機器のリスクランクを示すことが出来、ハイリスクの機器を抽出することが出来た。このランク分け・抽出により、検査プログラムの適切な見直しが可能であると考えられる。

第 5 章 結論

本章では、本研究によって得られた結論を示す。

本研究では、種子島宇宙センターの設備にリスクベースメンテナンスを導入するための検討を行ってきた。そのために、宇宙センターの設備の一部を対象として、過去のデータから故障率を算出することを試みた。また、JAXA が行った影響度の調査とあわせることでリスクの評価を行った。結論を以下に示す。

- 故障率を指数関数 $\lambda(t) = a \exp(b \cdot t)$ としてモデル化し、 a, b を確率変数としてベイズ統計の手法を用いて検査データを基に更新することで、個々の機器に対する故障率を算出した。この手法により、少数の過去の検査データから全機器の故障率の大小を明示することができた。
- 算出した故障率と影響度を組み合わせることにより、リスクマトリクスを作成した。作成したリスクマトリクスを基に、機器のリスクランクを示し、リスクの高い機器を抽出することができた。このリスクランクにより、検査プログラムの見直しが可能であると考えられる。

以上が本論文の結論である。

付録 A 推定する母数が 2 つの場合の ベイズの定理による更新例

手法

ある機器の検査において、Table A-1 の様な検査結果が得られた時、どのような計算で a, b を推定するかについて説明していく。

Table A-1 Example Data of Inspection

使用年数	1	2	3	4	5
検査結果	safe	failure	safe		failure

①推定する母数である a, b にその候補を与える

Table A-2 のように、 a は 0.02~0.1 までの 5 つ、 b は 0.1~0.5 までの 5 つの値を候補とする。今回の場合、原理を説明するだけであるので大雑把で少ない候補しか挙げていないが、候補をより多く、細かく設定すればより精度が上がる。

②各候補に確信度の事前分布を与える

a の値を 5 つ、 b の値を 5 つ候補として上げたので、 a と b を組み合わせた (a, b) の候補は 25 ある。それらに確信度の事前分布を与える。これは、様々なデータ、経験則などから主観的に決めることの出来るものである。今回は、中央が最も高くなるようなような Table A-2 のように事前分布を与えた。このとき、これらの確信度の合計は 350 である。

Table A-2 Prior Distribution

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	10	10	10	10	10
0.04	10	20	20	20	10
0.06	10	20	30	20	10
0.08	10	20	20	20	10
0.1	10	10	10	10	10

③ 1 年目の更新

1 年目の結果をもとにして確信度の分布を更新する。

(i)尤度を求める

1 年目の検査結果は「故障なし」なので、式(a.1)

$$P(\text{safety} | a, b) = 1 - F(t) = \exp\left[-\frac{a}{b}\{\exp(b \cdot t) - 1\}\right] \quad (\text{a.1})$$

を用いてそれぞれの候補の尤度を計算する。例えば、候補 $(a, b) = (0.02, 0.1)$ の尤度は、式(a.1)に $a = 0.02, b = 0.1, t = 1$ を代入した値であり、その値は 0.979 となる。

この計算を全ての候補について行う。その結果が Table A-3 のようになる。

Table A-3 Likelihood in 1st year

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	0.979	0.978	0.977	0.976	0.974
0.04	0.959	0.957	0.954	0.952	0.949
0.06	0.939	0.936	0.932	0.929	0.925
0.08	0.919	0.915	0.911	0.906	0.901
0.1	0.9	0.895	0.89	0.884	0.878

(ii) 尤度と事前の確信度を掛け合わせる

ベイズの定理にもあるように、事後分布を求めるために尤度と事前の確信度を掛け合わせる。すなわち、Table A-2 の値と Table A-3 の値を掛け合わせる。例えば、候補 $(a, b) = (0.02, 0.1)$ では、 $10 \times 0.979 = 9.79$ となる。

これらを計算した結果が Table A-4 になる。

Table A-4 Multiply Likelihood with Prior Distribution

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	9.792	9.781	9.769	9.757	9.744
0.04	9.588	19.13	19.09	19.04	9.494
0.06	9.388	18.71	27.97	18.58	9.251
0.08	9.193	18.3	18.22	18.13	9.014
0.1	9.002	8.952	8.899	8.843	8.783

(iii) 確信度の合計を事前の分布の合計と合わせる

Table A-4 にある、尤度と事前の確信度を掛け合わせて得られた分布の確信度の合計は 326.43 である。事前分布では合計が 350 であったので、各確信度に $350/326.43$ を掛ける。これによって得られるのが更新結果であり、Table A-5 のようになる。

Table A-5 Posterior Distribution in 1st year

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	10.5	10.49	10.47	10.46	10.45
0.04	10.28	20.52	20.47	20.42	10.18
0.06	10.07	20.07	29.99	19.92	9.919
0.08	9.857	19.63	19.53	19.44	9.665
0.1	9.652	9.598	9.542	9.482	9.417

④2年目の更新

2年目の結果をもとにして確信度の分布を更新する。基本的な手順は1年目と同じである。

(i)尤度を求める

2年目の検査結果は「故障あり」なので、

$$\begin{aligned}
 P(\text{failure} | a, b) &= F(t_i) - F(t_{i-1}) \\
 &= -\exp\left[-\frac{a}{b} \{\exp(b \cdot t_i) - 1\}\right] + \exp\left[-\frac{a}{b} \{\exp(b \cdot t_{i-1}) - 1\}\right] \quad (\text{a.3})
 \end{aligned}$$

を用いてそれぞれの候補の尤度を計算する。例えば、候補 $(a, b) = (0.02, 0.1)$ の尤度は、式(a.3)に $a = 0.02$, $b = 0.1$, $t_i = 2$, $t_{i-1} = 1$ を代入した値であり、その値は 0.022 となる。

この計算を全ての候補について行う。その結果が Table A-6 のようになる。

Table A-6 Likelihood in 2nd year

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	0.236	0.274	0.317	0.368	0.426
0.04	0.448	1.033	1.192	1.375	0.793
0.06	0.637	1.463	2.521	1.928	1.105
0.08	0.805	1.842	2.106	2.404	1.37
0.1	0.953	1.087	1.237	1.405	1.593

(ii) 尤度と事前の確信度を掛け合わせる

1年目と同様に、事後分布を求めるために尤度と事前の確信度を掛け合わせる。ただし、2年目の事前分布としては1年目の事後分布を用いる。すなわち、Table A-5の値と Table A-6の値を掛け合わせる。

これらを計算した結果が表 Table A-7 になる。

Table A-7 Multiply Likelihood with Prior Distribution

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	0.236	0.274	0.317	0.368	0.426
0.04	0.448	1.033	1.192	1.375	0.793
0.06	0.637	1.463	2.521	1.928	1.105
0.08	0.805	1.842	2.106	2.404	1.37
0.1	0.953	1.087	1.237	1.405	1.593

(iii)確信度の合計を事前の分布の合計と合わせる

1年目と同様，事後分布の合計を事前分布の合計と合わせる．

これによって得られるものが更新結果であり，Table A-8 のようになる．

Table A-8 Posterior Distribution in 2nd year

a \ b	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
0.02	2.859	3.312	3.839	4.45	5.16
0.04	5.42	12.51	14.43	16.64	9.593
0.06	7.706	17.71	30.51	23.34	13.38
0.08	9.739	22.29	25.48	29.1	16.59
0.1	11.54	13.15	14.97	17.01	19.28

考察

Table A-2 と Table A-5 を比べて，1年目の更新を考察すると，最も確信度の高い候補は $(a,b) = (0.06,0.3)$ と変わらないが，全体的に a,b の低い候補の確信度が高くなっていて， a,b の高い候補の確信度が低くなっていることがわかる． a,b の意味を考えてみると， a が低いほど故障率 $\lambda(t)$ も低くなるものであり，また， b が低いほど故障率 $\lambda(t)$ の増加の早さが遅くなる（グラフが立ち上がるのが遅くなる）ものである．従って，「故障なし」という検査結果に対して故障率が低くなる方の確信度が高くなるということである．

また，Table A-5 と Table A-8 を比べて，2年目の更新を考察すると，全体的に a,b の高い候補の確信度が高くなっていて， a,b の低い候補の確信度が低くなっていることがわかる．これは，1年目と逆で，「故障あり」という検査結果に対して故障率が高くなる方の確信度が高くなるということになる．

付録 B 影響度評価の結果

第 4 章で行った影響度評価で、全機器の影響度評価結果を示す。

Table B-1 Consequences of all elements

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーシ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
GHe受人元弁1	HMV-3301	C	C	C	C	C
GHe受人元弁2	HMV-3302	C	C	C	C	C
GHe送給元弁	HMV-3303	C	C	C	A	A
GHe受人ラインベント弁1	HMV-3305	C	C	C	C	C
GHe受人ラインベント弁2	HMV-3306	C	C	C	C	C
PG-3301元弁	HMV-3307	C	C	C	C	C
PG-3301元弁圧力校正ポート元弁	HMV-3308	C	C	C	C	C
GHe受人フィルタ	HFL-3301	C	C	C	C	C
GHeカードル元弁	PX-3301	C	C	C	C	C
GHeカードル圧力計	PG-3301	C	C	C	C	C
GHe圧縮機吸入元弁	HMV-3304	C	C	C	A	A
PG-3302元弁	HMV-3309	C	C	C	B	B
PG-3302圧力校正ポート元弁	HMV-3310	C	C	C	B	B
RV-3301元弁	MV-3311	C	C	C	B	B
PG-3303元弁	MV-3312	C	C	C	B	B
PG-3303圧力校正ポート元弁	MV-3313	C	C	C	B	B
RV-3302元弁	MV-3314	C	C	C	B	B
PG-3304元弁	MV-3315	C	C	C	B	B
PG-3304圧力校正ポート元弁	MV-3316	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入減圧弁1	HPR-	C	C	C	A	A
HPR-3301用設定減圧弁	HPR-	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入減圧弁2	PR-3302D	C	C	C	A	A
PR-3302用設定減圧弁	PR-3302H	C	C	C	B	B
吸入ライン安全弁1	RV-3301	C	C	C	A	A
吸入ライン安全弁2	RV-3302	C	C	C	A	A
吸入フィルタ	HFL-3302	C	C	C	A	A
GHe圧縮機吸入圧力計1	PG-3302	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入圧力計2	PG-3303	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入圧力計3	PG-3304	C	C	C	B	B
GHe圧縮機吸入圧	PX-3304	C	C	C	A	A
GHe圧縮機吐出止弁1	HMV-3320	B	C	C	B	B
GHe圧縮機吐出止弁2	HMV-3321	B	C	C	B	B
バイパス充填弁	HMV-3322	C	C	C	A	A
PX-3334元弁	HMV-3334	C	C	C	C	C
PX-3335元弁	HMV-3335	C	C	C	C	C
HRV-3320元弁	HMV-3336	C	C	C	C	C
HRV-3321元弁	HMV-3337	C	C	C	C	C
GHe圧縮機と出ラインベント弁1	HMV-3338	C	C	C	C	C
GHe圧縮機と出ラインベント弁2	HMV-3339	C	C	C	C	C
吐出ライン安全弁1	HRV-3320	C	C	C	B	B
吐出ライン安全弁2	HRV-3321	C	C	C	B	B
バイパス充填逆止弁	HCV-3320	B	C	C	A	A
C-3004吐出圧	PX-3334	C	C	C	B	B
C-3005吐出圧	PX-3335	C	C	C	B	B
C-3004吐出温度	TX-3303	C	C	C	B	B
C-3005吐出温度	TX-3304	C	C	C	B	B

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーシ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
気蓄器充填系GHe回収元弁	HMV-3420	C	C	C	B	B
共通切換系GHe回収元弁	HMV-3421	B	B	B	B	B
一般ハーン系GHe回収元弁	HMV-3422	A	C	C	B	A
GHe回収弁	HMV-3423	C	C	C	A	A
PG-3333元弁	HMV-3424	C	C	C	C	C
PG-3333ベント弁	HMV-3425	C	C	C	C	C
PG-3334元弁	HMV-3426	C	C	C	C	C
PG-3334圧力校正ホート元弁	HMV-3427	C	C	C	C	C
HRV-3330元弁	HMV-3428	C	C	C	B	B
GHe回収圧減圧弁	HPR-3304D	C	C	C	B	B
HPR-3304用設定減圧弁	HPR-3304H	C	C	C	B	B
GHe回収ライン安全弁	HRV-3330	C	C	C	B	B
GHe回収元圧力計	PG-3333	C	C	C	C	C
GHe回収圧力計	PG-3334	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3004	C	C	C	C	C
TK-3004元弁	HMV-3326	A	C	C	B	A
HRV-3322元弁	HMV-3342	C	C	C	C	C
PG-3321元弁	HMV-3349	C	C	C	C	C
TK-3004ベント弁	HMV-3350	C	C	C	C	C
TK-3004安全弁	HRV-3322	C	C	C	C	C
TK-3004圧力計	PG-3321	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3005	C	C	C	C	C
TK-3005元弁	HMV-3327	A	C	C	B	A
HRV-3323元弁	HMV-3343	C	C	C	C	C
PG-3322元弁	HMV-3351	C	C	C	C	C
TK-3005ベント弁	HMV-3352	C	C	C	C	C
TK-3005安全弁	HRV-3323	C	C	C	C	C
TK-3005圧力計	PG-3321	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3006	C	C	C	C	C
TK-3006元弁	HMV-3328	C	C	C	C	C
HRV-3324元弁	HMV-3344	C	C	C	C	C
PG-3324元弁	HMV-3357	C	C	C	C	C
TK-3006ベント弁	HMV-3358	C	C	C	C	C
TK-3006安全弁	HRV-3324	C	C	C	C	C
TK-3006圧力計	PG-3324	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3007	C	C	C	C	C
TK-3007元弁	HMV-3329	C	C	C	C	C
HRV-3325元弁	HMV-3345	C	C	C	C	C
PG-3325元弁	HMV-3359	C	C	C	C	C
TK-3007ベント弁	HMV-3360	C	C	C	C	C
TK-3007安全弁	HRV-3325	C	C	C	C	C
TK-3007圧力計	PG-3325	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3008	C	C	C	C	C
TK-3008元弁	HMV-3330	B	B	B	B	B
HRV-3326元弁	HMV-3346	C	C	C	C	C
PG-3326元弁	HMV-3361	C	C	C	C	C
TK-3008ベント弁	HMV-3362	C	C	C	C	C
TK-3008安全弁	HRV-3326	C	C	C	C	C
TK-3008圧力計	PG-3326	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3009	C	C	C	C	C
TK-3009元弁	HMV-3331	B	B	B	B	B
HRV-3327元弁	HMV-3347	C	C	C	C	C
PG-3327元弁	HMV-3363	C	C	C	C	C
TK-3009ベント弁	HMV-3364	C	C	C	C	C
TK-3009安全弁	HRV-3327	C	C	C	C	C
TK-3009圧力計	PG-3327	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3010	C	C	C	C	C
TK-3010元弁	HMV-3332	B	B	B	B	B
HRV-3328元弁	HMV-3348	C	C	C	C	C
PG-3328元弁	HMV-3365	C	C	C	C	C
TK-3010ベント弁	HMV-3366	C	C	C	C	C
TK-3010安全弁	HRV-3328	C	C	C	C	C
TK-3010圧力計	PG-3328	C	C	C	C	C
420K GHe貯気槽	TK-3011	C	C	C	C	C
TK-3011元弁	HMV-3429	B	B	B	B	B

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーツ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
PG-3335元弁	HMV-3431	C	C	C	C	C
TK-3011ベント弁	HMV-3432	C	C	C	C	C
TK-3011安全弁	HRV-3331	C	C	C	C	C
TK-3011圧力計	PG-3335	C	C	C	C	C
GHe移充填装置元弁	HMV-3370	C	C	C	C	C
GHe移充填弁1	HMV-3371	C	C	C	C	C
GHe移充填弁2	HMV-3372	C	C	C	C	C
PG-3331元弁	HMV-3373	C	C	C	C	C
PG-3332元弁	HMV-3374	C	C	C	C	C
PG-3332圧力校正ホート元弁	HMV-3375	C	C	C	C	C
HRV-3329元弁	HMV-3376	C	C	C	C	C
41.2MPa GHe移充填ライン元弁	HMV-3433	C	C	C	C	C
41.2Mpa GHe移充填弁	HMV-3434	C	C	C	C	C
GHe移充填装置安全弁	HRV-3329	C	C	C	C	C
GHe移充填装置減圧弁	HPR-3303D	C	C	C	C	C
HPR-3303D設定減圧弁	HPR-3303H	C	C	C	C	C
GHe移充填元圧力計	PG-3331	C	C	C	C	C
GHe移充填圧力計	PG-3332	C	C	C	C	C
GHe移充填装置フィルタ	HFL-3324	C	C	C	C	C
GHe移充填ライン	HFL-3325	C	C	C	C	C
一般ハーン系GHe貯気槽充填弁	HMV-3323	A	C	C	A	A
共通切替系GHe貯気槽充填弁 ※	HMV-3324	B	B	B	A	A
気蓄器充填系GHe貯気槽充填弁	HMV-3325	B	C	C	A	A
PG-3320元弁	HMV-3340	C	C	C	B	B
PG-3320圧力校正ホート元弁	HMV-3341	C	C	C	B	B
GHe貯気槽充填圧力計	PG-3320	C	C	C	B	B
GHe貯気槽充填フィルタ	HFL-3320	B	C	C	A	A
TS・VAB系420K GHe供給弁	HMV-3333	A	C	C	B	A
PG-3323元弁	HMV-3353	B	C	C	C	B
TS・VAB系420K GHe供給弁ハイ	HMV-3354	B	C	C	C	B
PG-3329元弁	HMV-3367	C	C	C	C	C
PG-3330元弁	HMV-3368	C	C	C	C	C
一般ハーン系420KGHe供給弁1	HNV-3320	A	B	C	B	A
一般ハーン系420KGHe供給弁2	HNV-3321	B	A	A	A	A
気蓄器充填系420KGHe供給弁1	HNV-3322	B	A	A	A	A
気蓄器充填系420KGHe供給弁2	HNV-3323	C	C	A	B	A
一般ハーン系420KGHe供給弁1(ハ	HNV-3324	A	C	C	B	A
一般ハーン系420KGHe供給弁2(ハ	HNV-3325	B	A	B	B	A
気蓄器充填系420KGHe供給弁1(ハ	HNV-3326	B	B	B	B	B
気蓄器充填系420KGHe供給弁2(ハ	HNV-3327	C	C	C	B	B
一般ハーン系GHe圧力計	PG-3323	B	C	C	C	B
共通切替用GHe圧力計	PG-3329	C	C	C	C	C
気蓄器充填系GHe圧力計	PG-3330	C	C	C	C	C
一般ハーン系GHe圧力発信器	PX-3323	A	C	C	B	A
共通切替用GHe圧力発信器	PX-3329	B	B	B	B	B
気蓄器充填系GHe圧力発信器	PX-3330	C	C	C	B	B
一般ハーン系420KGHe供給逆止弁	HCV-3321	C	A	C	C	A
気蓄器充填系420KGHe供給逆止弁	HCV-3322	C	C	A	C	A
TS・VAB系420K GHe供給ライン	HMV-3355	A	C	C	C	A
一般ハーン系420K GHe供給ライン	HMV-3356	C	A	C	C	A
気蓄器充填系420K GHe供給ライン	HMV-3369	C	C	A	C	A
TS・VAB系420K GHe供給フィル	HFL-3321	A	C	C	C	A
一般ハーン系420K GHe供給フィル	HFL-3322	C	A	C	C	A
気蓄器充填系420K GHe供給フィル	HFL-3323	C	C	A	C	A
吸入カス止め弁1	MV-3381	C	C	C	B	B
吸入カスベント弁1	MV-3382	C	C	C	C	C
ハイパス弁1	HMV-3383	C	C	C	C	C
PG-3337元弁	MV-3384	C	C	C	C	C
PG-3337圧力校正ホート元弁	MV-3385	C	C	C	C	C
PS-3301元弁	MV-3386	C	C	C	C	C
PS-3301ベント弁	MV-3387	C	C	C	C	C
HRV-3334元弁	HMV-3388	C	C	C	C	C
PG-3338元弁	HMV-3389	C	C	C	C	C
PG-3338圧力校正ホート元弁	HMV-3390	C	C	C	C	C
RV-3338元弁	MV-3391	C	C	C	C	C

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーツ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
PS-3302元弁	MV-3392	C	C	C	C	C
PS-3302ベント弁	MV-3393	C	C	C	C	C
HRV-3335元弁	HMV-3394	C	C	C	C	C
2段吐出ガス元弁1	HMV-3395	C	C	C	B	B
PG-3339元弁	HMV-3396	C	C	C	C	C
PG-3339ベント弁	HMV-3397	C	C	C	C	C
2段吐出ガスベント弁1	HMV-3398	C	C	C	C	C
中間段安全弁1	HRV-3334	C	C	C	B	B
吐出ガス安全弁1	HRV-3335	C	C	C	B	B
吸入ガス安全弁1	RV-3338	C	C	C	B	B
吸入温度計1	TG-3301	C	C	C	C	C
中間段温度計1	TG-3302	C	C	C	C	C
吐出温度計1	TG-3303	C	C	C	C	C
1段吐出ガス温度センサー	TX-3311	C	C	C	B	B
2段吐出ガス温度センサー	TX-3312	C	C	C	B	B
1段吐出ガス温度スイッチ	TS-3301	C	C	C	C	C
2段吐出ガス温度スイッチ	TS-3302	C	C	C	C	C
吸入圧力計1	PG-3337	C	C	C	C	C
中間段圧力計1	PG-3338	C	C	C	C	C
吐出圧力計1	PG-3339	C	C	C	C	C
吸入ガス圧力センサー	PX-3337	C	C	C	B	B
1段吐出ガス圧力センサー	PX-3338	C	C	C	B	B
2段吐出ガス圧力センサー	PX-3339	C	C	C	B	B
低圧側ダイヤフラム破裂表示器1	PS-3301	C	C	C	C	C
高圧側ダイヤフラム破裂表示器1	PS-3302	C	C	C	C	C
吸入ガス圧力スイッチ	PS-3305	C	C	C	C	C
吐出ガス圧力スイッチ	PS-3306	C	C	C	C	C
吸入ガスフィルタ	FL-3301	C	C	C	B	B
一段吐出ガスフィルタ	HFL-3302	C	C	C	B	B
吐出逆止弁1	HCV-3327	C	C	C	B	B
吐出ベント逆止弁1	HCV-3328	C	C	C	B	B
オイルタンクドレン弁1	MV-9301	C	C	C	B	B
PG-9301元弁	MV-9302	C	C	C	C	C
PG-9302元弁	MV-9303	C	C	C	C	C
PG-9303元弁	MV-9304	C	C	C	C	C
PG-9303圧力校正ポート元弁	MV-9305	C	C	C	C	C
1段オイルオーバーフロー弁1	RV-9301	C	C	C	B	B
2段オイルオーバーフロー弁1	RV-9303	C	C	C	B	B
クランクケース油温度計1	TG-9301	C	C	C	C	C
1段側オイル圧力計1	PG-9301	C	C	C	C	C
2段側オイル圧力計1	PG-9302	C	C	C	C	C
潤滑油ポンプ出口圧力計	PG-9303	C	C	C	C	C
潤滑油ポンプ出口圧力スイッチ	PS-9301	C	C	C	C	C
油潤滑用レギュレータ	PR-9301	C	C	C	C	B
1段オイル温度センサー	TX-9301	C	C	C	B	B
2段オイル温度センサー	TX-9302	C	C	C	B	B
クランクケース油温度センサー	TX-9303	C	C	C	B	B
オイルラインフィルタ	FL-9301	C	C	C	B	B
1段側オイル逆止弁	CV-9301	C	C	C	B	B
2段側オイル逆止弁	CV-9302	C	C	C	B	B
油圧アンローダ用電磁弁1	SV-9301	C	C	C	B	B
オイル補償用ポンプ		C	C	C	B	B
潤滑油ポンプ		C	C	C	B	B
油ライン配管		C	C	C	B	B
冷却水ベント弁	MV-8330	C	C	C	B	B
1段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8331	C	C	C	B	B
1段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8332	C	C	C	B	B
1段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8333	C	C	C	B	B
1段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力	MV-8334	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系元弁	MV-8335	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8336	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8337	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系圧力計圧力校正	MV-8338	C	C	C	B	B
2段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8339	C	C	C	B	B
2段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8340	C	C	C	B	B

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーツ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
2段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8341	C	C	C	B	B
2段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力	MV-8342	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系元弁	MV-8343	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8344	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8345	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系圧力計圧力校正	MV-8346	C	C	C	B	B
油ライン冷却系元弁	MV-8347	C	C	C	B	B
油ライン冷却系ベント弁	MV-8348	C	C	C	B	B
油ライン冷却系圧力計元弁	MV-8349	C	C	C	B	B
油ライン冷却系圧力計圧力校正弁	MV-8350	C	C	C	B	B
1段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8303	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8304	C	C	C	C	C
2段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8305	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8306	C	C	C	C	C
油ライン冷却系入口温度計	TG-8307	C	C	C	C	C
1段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8308	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8309	C	C	C	C	C
2段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8310	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8311	C	C	C	C	C
油ライン冷却系出口温度計	TG-8312	C	C	C	C	C
1段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8303	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8304	C	C	C	C	C
2段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8305	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8306	C	C	C	C	C
油ライン冷却系圧力計	PG-8307	C	C	C	C	C
1段ダイヤフラム冷却水フロースイッチ	FS-8301	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8302	C	C	C	C	C
2段ダイヤフラム冷却水フロースイッチ	FS-8303	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8304	C	C	C	C	C
油ライン冷却水フロースイッチ	FS-8305	C	C	C	C	C
ヘッドフランジ		C	C	C	B	B
ヘッドカバー		C	C	C	B	B
ダイヤフラム板		C	C	C	B	B
パフオレート板		C	C	C	B	B
冷却水コイル		C	C	C	B	B
吸入スラストピース		C	C	C	B	B
吐出スラストピース		C	C	C	B	B
吸入段弁		C	C	C	B	B
吐出段弁		C	C	C	B	B
ヘッド用スタッドボルト・ナット		C	C	C	B	B
スラストピース用スタッドボルト		C	C	C	B	B
ヘッドフランジ		C	C	C	B	B
ヘッドカバー		C	C	C	B	B
ダイヤフラム板		C	C	C	B	B
パフオレート板		C	C	C	B	B
冷却水コイル		C	C	C	B	B
吸入スラストピース		C	C	C	B	B
吐出スラストピース		C	C	C	B	B
吸入段弁		C	C	C	B	B
吐出段弁		C	C	C	B	B
ヘッド用スタッドボルト・ナット		C	C	C	B	B
スラストピース用スタッドボルト		C	C	C	B	B
カバー		C	C	C	B	B
ヘルト		C	C	C	B	B
コンロッド		C	C	C	B	B
クランク		C	C	C	B	B
ボルト締結部全般		C	C	C	B	B
フライホイール		C	C	C	B	B
モーター		C	C	C	B	B
1段吐出ガスクーラー		C	C	C	B	B
2段吐出ガスクーラー		C	C	C	B	B
オイルクーラー		C	C	C	B	B
吸入ガス止め弁I	MV-3399	C	C	C	B	B
吸入ガスベント弁I	MV-3400	C	C	C	C	C

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーツ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
ハイパス弁1	HMV-3401	C	C	C	C	C
PG-3340元弁	MV-3402	C	C	C	C	C
PG-3340圧力校正ポート元弁	MV-3403	C	C	C	C	C
PS-3303元弁	MV-3404	C	C	C	C	C
PS-3303ベント弁	MV-3405	C	C	C	C	C
HRV-3336元弁	HMV-3406	C	C	C	C	C
PG-3341元弁	HMV-3407	C	C	C	C	C
PG-3341圧力校正ポート元弁	HMV-3408	C	C	C	C	C
RV-3339元弁	MV-3409	C	C	C	C	C
PS-3304元弁	MV-3410	C	C	C	C	C
PS-3304ベント弁	MV-3411	C	C	C	C	C
HRV-3337元弁	HMV-3412	C	C	C	C	C
2段吐出ガス元弁1	HMV-3413	C	C	C	B	B
PG-3342元弁	HMV-3414	C	C	C	C	C
PG-3342ベント弁	HMV-3415	C	C	C	C	C
2段吐出ガスベント弁1	HMV-3416	C	C	C	C	C
中間段安全弁1	HRV-3336	C	C	C	B	B
吐出ガス安全弁1	HRV-3337	C	C	C	B	B
吸入ガス安全弁1	RV-3339	C	C	C	B	B
吸入温度計1	TG-3304	C	C	C	C	C
中間段温度計1	TG-3305	C	C	C	C	C
吐出温度計1	TG-3306	C	C	C	C	C
1段吐出ガス温度センサー	TX-3313	C	C	C	B	B
2段吐出ガス温度センサー	TX-3314	C	C	C	B	B
1段吐出ガス温度スイッチ	TS-3303	C	C	C	C	C
2段吐出ガス温度スイッチ	TS-3304	C	C	C	C	C
吸入圧力計1	PG-3340	C	C	C	C	C
中間段圧力計1	PG-3341	C	C	C	C	C
吐出圧力計1	PG-3342	C	C	C	C	C
吸入ガス圧力センサー	PX-3340	C	C	C	B	B
1段吐出ガス圧力センサー	PX-3341	C	C	C	B	B
2段吐出ガス圧力センサー	PX-3342	C	C	C	B	B
低圧側ダイヤフラム破裂表示器1	PS-3303	C	C	C	C	C
高圧側ダイヤフラム破裂表示器1	PS-3304	C	C	C	C	C
吸入ガス圧力スイッチ	PS-3307	C	C	C	C	C
吐出ガス圧力スイッチ	PS-3308	C	C	C	C	C
吸入ガスフィルタ	FL-3302	C	C	C	B	B
一段吐出ガスフィルタ	HFL-3304	C	C	C	B	B
吐出逆止弁1	HCV-3329	C	C	C	B	B
吐出ベント逆止弁1	HCV-3330	C	C	C	B	B
オイルタンクドレン弁1	MV-9306	C	C	C	B	B
PG-9304元弁	MV-9307	C	C	C	C	C
PG-9305元弁	MV-9308	C	C	C	C	C
PG-9306元弁	MV-9309	C	C	C	C	C
PG-9303圧力校正ポート元弁	MV-9310	C	C	C	C	C
1段オイルオーバーフロー弁1	RV-9303	C	C	C	B	B
2段オイルオーバーフロー弁1	RV-9304	C	C	C	B	B
クランクケース油温度計1	TG-9302	C	C	C	C	C
1段側オイル圧力計1	PG-9304	C	C	C	C	C
2段側オイル圧力計1	PG-9305	C	C	C	C	C
潤滑油ポンプ出口圧力計	PG-9306	C	C	C	C	C
潤滑油ポンプ出口圧力スイッチ	PS-9302	C	C	C	C	C
油潤滑用レギュレータ	PR-9302	C	C	C	C	B
1段オイル温度センサー	TX-9304	C	C	C	B	B
2段オイル温度センサー	TX-9305	C	C	C	B	B
クランクケース油温度センサー	TX-9306	C	C	C	B	B
オイルラインフィルタ	FL-9302	C	C	C	B	B
1段側オイル逆止弁	CV-9303	C	C	C	B	B
2段側オイル逆止弁	CV-9304	C	C	C	B	B
油圧アンロータ用電磁弁1	SV-9302	C	C	C	B	B
オイル補償用ポンプ		C	C	C	B	B
潤滑油ポンプ		C	C	C	B	B
油ライン配管		C	C	C	B	B
冷却水ベント弁	MV-8360	C	C	C	B	B

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーツ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
1段タイヤフラム冷却系元弁	MV-8361	C	C	C	B	B
1段タイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8362	C	C	C	B	B
1段タイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8363	C	C	C	B	B
1段タイヤフラム冷却系圧力計圧力	MV-8364	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系元弁	MV-8365	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8366	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8367	C	C	C	B	B
1段吐出ガス冷却系圧力計圧力校	MV-8368	C	C	C	B	B
2段タイヤフラム冷却系元弁	MV-8369	C	C	C	B	B
2段タイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8370	C	C	C	B	B
2段タイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8371	C	C	C	B	B
2段タイヤフラム冷却系圧力計圧力	MV-8372	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系元弁	MV-8373	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8374	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8375	C	C	C	B	B
2段吐出ガス冷却系圧力計圧力校	MV-8376	C	C	C	B	B
油ライン冷却系元弁	MV-8377	C	C	C	B	B
油ライン冷却系ベント弁	MV-8378	C	C	C	B	B
油ライン冷却系圧力計元弁	MV-8379	C	C	C	B	B
油ライン冷却系圧力計圧力校正示	MV-8380	C	C	C	B	B
1段タイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8313	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8314	C	C	C	C	C
2段タイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8315	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8316	C	C	C	C	C
油ライン冷却系入口温度計	TG-8317	C	C	C	C	C
1段タイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8318	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8319	C	C	C	C	C
2段タイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8320	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8321	C	C	C	C	C
油ライン冷却系出口温度計	TG-8322	C	C	C	C	C
1段タイヤフラム冷却系圧力計	PG-8308	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8309	C	C	C	C	C
2段タイヤフラム冷却系圧力計	PG-8310	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8311	C	C	C	C	C
油ライン冷却系圧力計	PG-8312	C	C	C	C	C
1段タイヤフラム冷却水フロースイ	FS-8306	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却水フロースイ	FS-8307	C	C	C	C	C
2段タイヤフラム冷却水フロースイ	FS-8308	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却水フロースイ	FS-8309	C	C	C	C	C
油ライン冷却水フロースイ	FS-8310	C	C	C	C	C
ヘッドフランジ		C	C	C	B	B
ヘッドカバー		C	C	C	B	B
タイヤフラム板		C	C	C	B	B
バフオレート板		C	C	C	B	B
冷却水コイル		C	C	C	B	B
吸入スラストピース		C	C	C	B	B
吐出スラストピース		C	C	C	B	B
吸入段弁		C	C	C	B	B
吐出段弁		C	C	C	B	B
ヘッド用スタッドボルト・ナット		C	C	C	B	B
スラストピース用スタッドボルト		C	C	C	B	B
ヘッドフランジ		C	C	C	B	B
ヘッドカバー		C	C	C	B	B
タイヤフラム板		C	C	C	B	B
バフオレート板		C	C	C	B	B
冷却水コイル		C	C	C	B	B
吸入スラストピース		C	C	C	B	B
吐出スラストピース		C	C	C	B	B
吸入段弁		C	C	C	B	B
吐出段弁		C	C	C	B	B
ヘッド用スタッドボルト・ナット		C	C	C	B	B
スラストピース用スタッドボルト		C	C	C	B	B
カバー		C	C	C	B	B
ベルト		C	C	C	B	B

要素	TAG No.	VAB供給	LPパーズ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
コンロッド		C	C	C	B	B
クランク		C	C	C	B	B
ホルト締結部全般		C	C	C	B	B
フライホイール		C	C	C	B	B
モーター		C	C	C	B	B
1段吐出カスクーラー		C	C	C	B	B
2段吐出カスクーラー		C	C	C	B	B
オイルクーラー		C	C	C	B	B
圧縮機吸入ライン		C	C	C	A	A
圧縮機吐出ライン		A	C	C	A	A
C-3004圧縮機ライン		C	C	C	B	B
C-3005圧縮機ライン		C	C	C	B	B
一般ハーン系貯気槽ライン		A	B	C	B	A
共通系貯気槽ライン		B	A	A	A	A
気蓄器系貯気槽ライン		C	C	B	B	B
TK-3004ライン		C	C	C	C	C
TK-3005ライン		C	C	C	C	C
TK-3006ライン		C	C	C	C	C
TK-3007ライン		C	C	C	C	C
TK-3008ライン		C	C	C	C	C
TK-3009ライン		C	C	C	C	C
TK-3010ライン		C	C	C	C	C
TK-3011ライン		C	C	C	C	C
回収ライン		C	C	C	A	A
移充填装置ライン		C	C	C	C	C

付録 C リスク評価の結果

第 3 章で行った故障率の算出結果と，第 4 章で行ったリスク評価の結果を全機器について示す。

Table C-1 Failure rate and Risk rank of all elements

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
Ghe受入元弁1	HMV-3301	0.135	C	C	低
Ghe受入元弁2	HMV-3302	0.306	B	C	低
Ghe送給元弁	HMV-3303	0.079	C	A	中
Ghe受入ラインベント弁1	HMV-3305	0.135	C	C	低
Ghe受入ラインベント弁2	HMV-3306	0.135	C	C	低
PG-3301元弁	HMV-3307	0.135	C	C	低
PG-3301元弁圧力校正ポート元弁	HMV-3308	0.135	C	C	低
Ghe受入フィルタ	HFL-3301	0.028	C	C	低
Gheカードル元圧	PX-3301	0.208	C	C	低
GHeカードル圧力計	PG-3301	0.226	C	C	低
Ghe圧縮機吸入元弁	HMV-3304	0.306	B	A	高
PG-3302元弁	HMV-3309	0.135	C	B	低
PG-3302圧力校正ポート元弁	HMV-3310	0.135	C	B	低
RV-3301元弁	MV-3311	0.079	C	B	低
PG-3303元弁	MV-3312	0.135	C	B	低
PG-3303圧力校正ポート元弁	MV-3313	0.135	C	B	低
RV-3302元弁	MV-3314	0.079	C	B	低
PG-3304元弁	MV-3315	0.135	C	B	低
PG-3304圧力校正ポート元弁	MV-3316	0.135	C	B	低
Ghe圧縮機吸入減圧弁1	HPR-3301D	0.135	C	A	中
HPR-3301用設定減圧弁	HPR-3301H	0.135	C	B	低
Ghe圧縮機吸入減圧弁2	PR-3302D	0.135	C	A	中
PR-3302用設定減圧弁	PR-3302H	0.135	C	B	低
吸入ライン安全弁1	RV-3301	0.291	B	A	高
吸入ライン安全弁2	RV-3302	0.291	B	A	高
吸入フィルタ	HFL-3302	0.130	C	A	中
Ghe圧縮機吸入圧力計1	PG-3302	0.097	C	B	低
Ghe圧縮機吸入圧力計2	PG-3303	0.218	C	B	低
Ghe圧縮機吸入圧力計3	PG-3304	0.253	B	B	中
Ghe圧縮機吸入圧	PX-3304	0.208	C	A	中
Ghe圧縮機吐出止弁1	HMV-3320	0.183	C	B	低
Ghe圧縮機吐出止弁2	HMV-3321	0.079	C	B	低
バイパス充填弁	HMV-3322	0.135	C	A	中
PX-3334元弁	HMV-3334	0.079	C	C	低
PX-3335元弁	HMV-3335	0.135	C	C	低
HRV-3320元弁	HMV-3336	0.079	C	C	低
HRV-3321元弁	HMV-3337	0.079	C	C	低
Ghe圧縮機と出ラインベント弁1	HMV-3338	0.135	C	C	低

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
Ghe圧縮機と出ラインベント弁2	HMV-3339	0.079	C	C	低
吐出ライン安全弁1	HRV-3320	0.731	A	B	高
吐出ライン安全弁2	HRV-3321	0.225	C	B	低
バイパス充填逆止弁	HCV-3320	0.143	C	A	中
C-3004吐出圧	PX-3334	0.208	C	B	低
C-3005吐出圧	PX-3335	0.208	C	B	低
C-3004吐出温度	TX-3303	0.364	B	B	中
C-3005吐出温度	TX-3304	0.364	B	B	中
気蓄器充填系Ghe回収元弁	HMV-3420	0.135	C	B	低
共通切換系Ghe回収元弁	HMV-3421	0.135	C	B	低
一般バージ系Ghe回収元弁	HMV-3422	0.079	C	A	中
Ghe回収元弁	HMV-3423	0.135	C	A	中
PG-3333元弁	HMV-3424	0.135	C	C	低
PG-3333ベント弁	HMV-3425	0.051	C	C	低
PG-3334元弁	HMV-3426	0.135	C	C	低
PG-3334圧力校正ポート元弁	HMV-3427	0.135	C	C	低
HRV-3330元弁	HMV-3428	0.135	C	B	低
Ghe回収圧減圧弁	HPR-3304D	0.079	C	B	低
HPR-3304用設定減圧弁	HPR-3304H	0.051	C	B	低
Ghe回収ライン安全弁	HRV-3330	0.291	B	B	中
Ghe回収元圧圧力計	PG-3333	0.097	C	C	低
Ghe回収圧圧力計	PG-3334	0.226	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3004	0.145	C	C	低
TK-3004元弁	HMV-3326	0.093	C	A	中
HRV-3322元弁	HMV-3342	0.135	C	C	低
PG-3321元弁	HMV-3349	0.135	C	C	低
TK-3004ベント弁	HMV-3350	0.135	C	C	低
TK-3004安全弁	HRV-3322	0.048	C	C	低
TK-3004圧力計	PG-3321	0.226	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3005	0.152	C	C	低
TK-3005元弁	HMV-3327	0.113	C	A	中
HRV-3323元弁	HMV-3343	0.079	C	C	低
PG-3322元弁	HMV-3351	0.104	C	C	低
TK-3005ベント弁	HMV-3352	0.135	C	C	低
TK-3005安全弁	HRV-3323	0.038	C	C	低
TK-3005圧力計	PG-3322	0.097	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3006	0.159	C	C	低
TK-3006元弁	HMV-3328	0.135	C	C	低
HRV-3324元弁	HMV-3344	0.135	C	C	低
PG-3324元弁	HMV-3357	0.135	C	C	低
TK-3006ベント弁	HMV-3358	0.135	C	C	低
TK-3006安全弁	HRV-3324	0.291	B	C	低
TK-3006圧力計	PG-3324	0.097	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3007	0.152	C	C	低
TK-3007元弁	HMV-3329	0.135	C	C	低
HRV-3325元弁	HMV-3345	0.118	C	C	低
PG-3325元弁	HMV-3359	0.183	C	C	低
TK-3007ベント弁	HMV-3360	0.135	C	C	低
TK-3007安全弁	HRV-3325	0.212	C	C	低
TK-3007圧力計	PG-3325	0.097	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3008	0.159	C	C	低
TK-3008元弁	HMV-3330	0.135	C	B	低
HRV-3326元弁	HMV-3346	0.135	C	C	低
PG-3326元弁	HMV-3361	0.051	C	C	低
TK-3008ベント弁	HMV-3362	0.135	C	C	低
TK-3008安全弁	HRV-3326	0.170	C	C	低
TK-3008圧力計	PG-3326	0.097	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3009	0.159	C	C	低
TK-3009元弁	HMV-3331	0.183	C	B	低
HRV-3327元弁	HMV-3347	0.113	C	C	低

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
PG-3327元弁	HMV-3363	0.183	C	C	低
TK-3009ベント弁	HMV-3364	0.051	C	C	低
TK-3009安全弁	HRV-3327	0.291	B	C	低
TK-3009圧力計	PG-3327	0.097	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3010	0.159	C	C	低
TK-3010元弁	HMV-3332	0.135	C	B	低
HRV-3328元弁	HMV-3348	0.113	C	C	低
PG-3328元弁	HMV-3365	0.135	C	C	低
TK-3010ベント弁	HMV-3366	0.168	C	C	低
TK-3010安全弁	HRV-3328	0.915	A	C	中
TK-3010圧力計	PG-3328	0.097	C	C	低
420K Ghe貯気槽	TK-3011	0.159	C	C	低
TK-3011元弁	HMV-3429	0.183	C	B	低
HRV-3331元弁	HMV-3430	0.093	C	C	低
PG-3335元弁	HMV-3431	0.118	C	C	低
TK-3011ベント弁	HMV-3432	0.118	C	C	低
TK-3011安全弁	HRV-3331	0.038	C	C	低
TK-3011圧力計	PG-3335	0.097	C	C	低
Ghe移充填装置元弁	HMV-3370	0.104	C	C	低
Ghe移充填弁1	HMV-3371	0.118	C	C	低
Ghe移充填弁2	HMV-3372	0.135	C	C	低
PG-3331元弁	HMV-3373	0.118	C	C	低
PG-3332元弁	HMV-3374	0.183	C	C	低
PG-3332圧力校正ポート元弁	HMV-3375	0.135	C	C	低
HRV-3329元弁	HMV-3376	0.135	C	C	低
41.2MPa Ghe移充填ライン元弁	HMV-3433	0.135	C	C	低
41.2Mpa Ghe移充填弁	HMV-3434	0.118	C	C	低
Ghe移充填装置安全弁	HRV-3329	0.520	B	C	低
Ghe移充填装置減圧弁	HPR-3303D	0.183	C	C	低
HPR-3303D設定減圧弁	HPR-3303H	0.135	C	C	低
Ghe移充填元圧力計	PG-3331	0.097	C	C	低
Ghe移充填圧力計	PG-3332	0.226	C	C	低
Ghe移充填装置フィルタ	HFL-3324	0.130	C	C	低
Ghe移充填ライン	HFL-3325	0.130	C	C	低
一般バージ系Ghe貯気槽充填弁	HMV-3323	0.168	C	A	中
共通切替系Ghe貯気槽充填弁	HMV-3324	0.135	C	A	中
気蓄器充填系Ghe貯気槽充填弁	HMV-3325	0.126	C	A	中
PG-3320元弁	HMV-3340	0.079	C	B	低
PG-3320圧力校正ポート元弁	HMV-3341	0.118	C	B	低
Ghe貯気槽充填圧力計	PG-3320	0.088	C	B	低
Ghe貯気槽充填フィルタ	HFL-3320	0.307	B	A	高
TS・VAB系420K Ghe供給弁	HMV-3333	0.135	C	A	中
PG-3323元弁	HMV-3353	0.104	C	B	低
TS・VAB系420K Ghe供給弁バイパス弁	HMV-3354	0.157	C	B	低
PG-3329元弁	HMV-3367	0.113	C	C	低
PG-3330元弁	HMV-3368	0.113	C	C	低
一般バージ系420KGHe供給弁1	HNV-3320	0.135	C	A	中
一般バージ系420KGHe供給弁2	HNV-3321	0.135	C	A	中
気蓄器充填系420KGHe供給弁1	HNV-3322	0.079	C	A	中
気蓄器充填系420KGHe供給弁2	HNV-3323	0.118	C	A	中
一般バージ系420KGHe供給弁1(バイパス弁)	HNV-3324	0.093	C	A	中
一般バージ系420KGHe供給弁2(バイパス弁)	HNV-3325	0.135	C	A	中
気蓄器充填系420KGHe供給弁1(バイパス弁)	HNV-3326	0.280	B	B	中
気蓄器充填系420KGHe供給弁2(バイパス弁)	HNV-3327	0.079	C	B	低
一般バージ系Ghe圧力計	PG-3323	0.097	C	B	低
共通切替用Ghe圧力計	PG-3329	0.097	C	C	低
気蓄器充填系Ghe圧力計	PG-3330	0.226	C	C	低
一般バージ系Ghe圧力発信器	PX-3323	0.208	C	A	中
共通切替用Ghe圧力発信器	PX-3329	0.208	C	B	低
気蓄器充填系Ghe圧力発信器	PX-3330	0.208	C	B	低

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
一般パージ系420KGHe供給逆止弁	HCV-3321	0.143	C	A	中
気蓄器充填系420KGHe供給逆止弁	HCV-3322	0.143	C	A	中
TS・VAB系420K Ghe供給ラインサンプリング弁	HMV-3355	0.135	C	A	中
一般パージ系420K Ghe供給ラインサンプリング弁	HMV-3356	0.135	C	A	中
気蓄器充填系420K Ghe供給ラインサンプリング弁	HMV-3369	0.135	C	A	中
TS・VAB系420K Ghe供給フィルタ	HFL-3321	0.044	C	A	中
一般パージ系420K Ghe供給フィルタ	HFL-3322	0.130	C	A	中
気蓄器充填系420K Ghe供給フィルタ	HFL-3323	0.130	C	A	中
吸入ガス止め弁1	MV-3381	0.135	C	B	低
吸入ガスベント弁1	MV-3382	0.135	C	C	低
バイパス弁1	HMV-3383	0.183	C	C	低
PG-3337元弁	MV-3384	0.135	C	C	低
PG-3337圧力校正ポート元弁	MV-3385	0.135	C	C	低
PS-3301元弁	MV-3386	0.135	C	C	低
PS-3301ベント弁	MV-3387	0.135	C	C	低
HRV-3334元弁	HMV-3388	0.135	C	C	低
PG-3338元弁	HMV-3389	0.135	C	C	低
PG-3338圧力校正ポート元弁	HMV-3390	0.135	C	C	低
RV-3338元弁	MV-3391	0.135	C	C	低
PS-3302元弁	MV-3392	0.135	C	C	低
PS-3302ベント弁	MV-3393	0.135	C	C	低
HRV-3335元弁	HMV-3394	0.135	C	C	低
2段吐出ガス元弁1	HMV-3395	0.135	C	B	低
PG-3339元弁	HMV-3396	0.135	C	C	低
PG-3339ベント弁	HMV-3397	0.135	C	C	低
2段吐出ガスベント弁1	HMV-3398	0.135	C	C	低
中間段安全弁1	HRV-3334	0.019	C	B	低
吐出ガス安全弁1	HRV-3335	0.291	B	B	中
吸入ガス安全弁1	RV-3338	0.311	B	B	中
吸入温度計1	TG-3301	0.247	C	C	低
中間段温度計1	TG-3302	0.172	C	C	低
吐出温度計1	TG-3303	0.247	C	C	低
1段吐出ガス温度センサー	TX-3311	0.247	C	B	低
2段吐出ガス温度センサー	TX-3312	0.247	C	B	低
1段吐出ガス温度スイッチ	TS-3301	0.274	B	C	低
2段吐出ガス温度スイッチ	TS-3302	0.274	B	C	低
吸入圧力計1	PG-3337	0.327	B	C	低
中間段圧力計1	PG-3338	0.223	C	C	低
吐出圧力計1	PG-3339	0.223	C	C	低
吸入ガス圧力センサー	PX-3337	0.254	B	B	中
1段吐出ガス圧力センサー	PX-3338	0.254	B	B	中
2段吐出ガス圧力センサー	PX-3339	0.254	B	B	中
低圧側ダイアフラム破裂表示器1	PS-3301	0.274	B	C	低
高圧側ダイアフラム破裂表示器1	PS-3302	0.274	B	C	低
吸入ガス圧力スイッチ	PS-3305	0.274	B	C	低
吐出ガス圧力スイッチ	PS-3306	0.274	B	C	低
吸入ガスフィルタ	FL-3301	0.274	B	B	中
一段吐出ガスフィルタ	HFL-3303	0.274	B	B	中
吐出逆止弁1	HCV-3327	0.274	B	B	中
吐出ベント逆止弁1	HCV-3328	0.274	B	B	中
オイルタンクドレン弁1	MV-9301	0.274	B	B	中
PG-9301元弁	MV-9302	0.274	B	C	低
PG-9302元弁	MV-9303	0.274	B	C	低
PG-9303元弁	MV-9304	0.274	B	C	低
PG-9303圧力校正ポート元弁	MV-9305	0.274	B	C	低
1段オイルオーバーフロー弁1	RV-9301	0.085	C	B	低
2段オイルオーバーフロー弁1	RV-9302	0.083	C	B	低
クランクケース油温度計1	TG-9301	0.274	B	C	低
1段側オイル圧力計1	PG-9301	0.274	B	C	低
2段側オイル圧力計1	PG-9302	0.274	B	C	低

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
潤滑油ポンプ出口圧力計	PG-9303	0.274	B	C	低
潤滑油ポンプ出口圧力スイッチ	PS-9301	0.274	B	C	低
油潤滑用レギュレータ	PR-9301	0.274	B	B	中
1段オイル温度センサー	TX-9301	0.247	C	B	低
2段オイル温度センサー	TX-9302	0.247	C	B	低
クランクケース油温度センサー	TX-9303	0.247	C	B	低
オイルラインフィルタ	FL-9301	0.274	B	B	中
1段側オイル逆止弁	CV-9301	0.274	B	B	中
2段側オイル逆止弁	CV-9302	0.274	B	B	中
油圧アンローダ用電磁弁1	SV-9301	0.274	B	B	中
オイル補償用ポンプ		0.274	B	B	中
潤滑油ポンプ		0.274	B	B	中
油ライン配管		0.274	B	B	中
冷却水ベント弁	MV-8330	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8331	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8332	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8333	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8334	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系元弁	MV-8335	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8336	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8337	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8338	0.274	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8339	0.274	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8340	0.274	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8341	0.274	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8342	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系元弁	MV-8343	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8344	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8345	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8346	0.274	B	B	中
油ライン冷却系元弁	MV-8347	0.274	B	B	中
油ライン冷却系ベント弁	MV-8348	0.274	B	B	中
油ライン冷却系圧力計元弁	MV-8349	0.274	B	B	中
油ライン冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8350	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8303	0.247	C	C	低
1段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8304	0.247	C	C	低
2段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8305	0.247	C	C	低
2段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8306	0.247	C	C	低
油ライン冷却系入口温度計	TG-8307	0.247	C	C	低
1段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8308	0.247	C	C	低
1段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8309	0.247	C	C	低
2段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8310	0.247	C	C	低
2段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8311	0.247	C	C	低
油ライン冷却系出口温度計	TG-8312	0.247	C	C	低
1段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8303	0.274	B	C	低
1段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8304	0.274	B	C	低
2段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8305	0.274	B	C	低
2段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8306	0.274	B	C	低
油ライン冷却系圧力計	PG-8307	0.274	B	C	低
1段ダイヤフラム冷却水フロースイッチ	FS-8301	0.274	B	C	低
1段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8302	0.274	B	C	低
2段ダイヤフラム冷却水フロースイッチ	FS-8303	0.274	B	C	低
2段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8304	0.274	B	C	低
油ライン冷却水フロースイッチ	FS-8305	0.274	B	C	低
ヘッドフランジ		0.274	B	B	中
ヘッドカバー		0.274	B	B	中
ダイヤフラム板		0.085	C	B	低
パフオレート板		0.274	B	B	中
冷却水コイル		0.274	B	B	中
吸入スラストピース		0.274	B	B	中

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
吐出スラストピース		0.274	B	B	中
吸入段弁		0.085	C	B	低
吐出段弁		0.085	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.085	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.085	C	B	低
ヘッドフランジ		0.274	B	B	中
ヘッドカバー		0.274	B	B	中
ダイアフラム板		0.085	C	B	低
パフォレート板		0.274	B	B	中
冷却水コイル		0.274	B	B	中
吸入スラストピース		0.274	B	B	中
吐出スラストピース		0.274	B	B	中
吸入段弁		0.085	C	B	低
吐出段弁		0.085	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.085	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.085	C	B	低
カバー		0.274	B	B	中
ベルト		0.274	B	B	中
コンロッド		0.274	B	B	中
クランク		0.274	B	B	中
ボルト締結部全般		0.274	B	B	中
フライホイール		0.274	B	B	中
モーター		0.274	B	B	中
1段吐出ガスクーラー		0.106	C	B	低
2段吐出ガスクーラー		0.106	C	B	低
オイルクーラー		0.274	B	B	中
吸入ガス止め弁1	MV-3399	0.267	B	B	中
吸入ガスベント弁1	MV-3400	0.135	C	C	低
バイパス弁1	HMV-3401	0.135	C	C	低
PG-3340元弁	MV-3402	0.135	C	C	低
PG-3340圧力校正ポート元弁	MV-3403	0.135	C	C	低
PS-3303元弁	MV-3404	0.135	C	C	低
PS-3303ベント弁	MV-3405	0.135	C	C	低
HRV-3336元弁	HMV-3406	0.135	C	C	低
PG-3341元弁	HMV-3407	0.135	C	C	低
PG-3341圧力校正ポート元弁	HMV-3408	0.135	C	C	低
RV-3339元弁	MV-3409	0.135	C	C	低
PS-3304元弁	MV-3410	0.135	C	C	低
PS-3304ベント弁	MV-3411	0.135	C	C	低
HRV-3337元弁	HMV-3412	0.135	C	C	低
2段吐出ガス元弁1	HMV-3413	0.135	C	B	低
PG-3342元弁	HMV-3414	0.135	C	C	低
PG-3342ベント弁	HMV-3415	0.135	C	C	低
2段吐出ガスベント弁1	HMV-3416	0.135	C	C	低
中間段安全弁1	HRV-3336	0.291	B	B	中
吐出ガス安全弁1	HRV-3337	0.291	B	B	中
吸入ガス安全弁1	RV-3339	0.311	B	B	中
吸入温度計1	TG-3304	0.235	C	C	低
中間段温度計1	TG-3305	0.235	C	C	低
吐出温度計1	TG-3306	0.235	C	C	低
1段吐出ガス温度センサー	TX-3313	0.235	C	B	低
2段吐出ガス温度センサー	TX-3314	0.235	C	B	低
1段吐出ガス温度スイッチ	TS-3303	0.288	B	C	低
2段吐出ガス温度スイッチ	TS-3304	0.288	B	C	低
吸入圧力計1	PG-3340	0.223	C	C	低
中間段圧力計1	PG-3341	0.223	C	C	低
吐出圧力計1	PG-3342	0.223	C	C	低
吸入ガス圧力センサー	PX-3340	0.254	B	B	中
1段吐出ガス圧力センサー	PX-3341	0.254	B	B	中
2段吐出ガス圧力センサー	PX-3342	0.254	B	B	中

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
低圧側ダイヤフラム破裂表示器1	PS-3303	0.288	B	C	低
高圧側ダイヤフラム破裂表示器1	PS-3304	0.288	B	C	低
吸入ガス圧カスイッチ	PS-3307	0.288	B	C	低
吐出ガス圧カスイッチ	PS-3308	0.288	B	C	低
吸入ガスフィルタ	FL-3302	0.288	B	B	中
一段吐出ガスフィルタ	HFL-3304	0.288	B	B	中
吐出逆止弁1	HCV-3329	0.288	B	B	中
吐出ベント逆止弁1	HCV-3330	0.288	B	B	中
オイルタンクドレン弁1	MV-9306	0.288	B	B	中
PG-9304元弁	MV-9307	0.288	B	C	低
PG-9305元弁	MV-9308	0.288	B	C	低
PG-9306元弁	MV-9309	0.288	B	C	低
PG-9303圧力校正ポート元弁	MV-9310	0.288	B	C	低
1段オイルオーバーフロー弁1	RV-9303	0.156	C	B	低
2段オイルオーバーフロー弁1	RV-9304	0.167	C	B	低
クランクケース油温度計1	TG-9302	0.288	B	C	低
1段側オイル圧力計1	PG-9304	0.288	B	C	低
2段側オイル圧力計1	PG-9305	0.288	B	C	低
潤滑油ポンプ出口圧力計	PG-9306	0.288	B	C	低
潤滑油ポンプ出口圧カスイッチ	PS-9302	0.288	B	C	低
油潤滑用レギュレータ	PR-9302	0.288	B	B	中
1段オイル温度センサー	TX-9304	0.235	C	B	低
2段オイル温度センサー	TX-9305	0.235	C	B	低
クランクケース油温度センサー	TX-9306	0.235	C	B	低
オイルラインフィルタ	FL-9302	0.288	B	B	中
1段側オイル逆止弁	CV-9303	0.129	C	B	低
2段側オイル逆止弁	CV-9304	0.129	C	B	低
油圧アンローダ用電磁弁1	SV-9302	0.288	B	B	中
オイル補償用ポンプ		0.288	B	B	中
潤滑油ポンプ		0.288	B	B	中
油ライン配管		0.288	B	B	中
冷却水ベント弁	MV-8360	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8361	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8362	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8363	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8364	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系元弁	MV-8365	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8366	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8367	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8368	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8369	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8370	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	MV-8371	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8372	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系元弁	MV-8373	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8374	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8375	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8376	0.288	B	B	中
油ライン冷却系元弁	MV-8377	0.288	B	B	中
油ライン冷却系ベント弁	MV-8378	0.288	B	B	中
油ライン冷却系圧力計元弁	MV-8379	0.288	B	B	中
油ライン冷却系圧力計圧力校正ポート元弁	MV-8380	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8313	0.235	C	C	低
1段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8314	0.235	C	C	低
2段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8315	0.235	C	C	低
2段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8316	0.235	C	C	低
油ライン冷却系入口温度計	TG-8317	0.235	C	C	低
1段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8318	0.235	C	C	低
1段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8319	0.235	C	C	低
2段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8320	0.235	C	C	低

要素	TAG No.	2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
2段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8321	0.235	C	C	低
油ライン冷却系出口温度計	TG-8322	0.235	C	C	低
1段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8308	0.288	B	C	低
1段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8309	0.288	B	C	低
2段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8310	0.288	B	C	低
2段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8311	0.288	B	C	低
油ライン冷却系圧力計	PG-8312	0.288	B	C	低
1段ダイヤフラム冷却水フロースイッチ	FS-8306	0.288	B	C	低
1段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8307	0.288	B	C	低
2段ダイヤフラム冷却水フロースイッチ	FS-8308	0.288	B	C	低
2段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8309	0.288	B	C	低
油ライン冷却水フロースイッチ	FS-8310	0.288	B	C	低
ヘッドフランジ		0.288	B	B	中
ヘッドカバー		0.288	B	B	中
ダイヤフラム板		0.129	C	B	低
パフオレート板		0.288	B	B	中
冷却水コイル		0.288	B	B	中
吸入スラストピース		0.129	C	B	低
吐出スラストピース		0.129	C	B	低
吸入段弁		0.288	B	B	中
吐出段弁		0.288	B	B	中
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.288	B	B	中
スラストピース用スタッドボルト		0.288	B	B	中
ヘッドフランジ		0.288	B	B	中
ヘッドカバー		0.288	B	B	中
ダイヤフラム板		0.087	C	B	低
パフオレート板		0.288	B	B	中
冷却水コイル		0.288	B	B	中
吸入スラストピース		0.288	B	B	中
吐出スラストピース		0.288	B	B	中
吸入段弁		0.129	C	B	低
吐出段弁		0.129	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.129	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.129	C	B	低
カバー		0.288	B	B	中
ベルト		0.288	B	B	中
コンロッド		0.288	B	B	中
クランク		0.288	B	B	中
ボルト締結部全般		0.288	B	B	中
フライホイール		0.288	B	B	中
モーター		0.288	B	B	中
1段吐出ガスクーラー		0.156	C	B	低
2段吐出ガスクーラー		0.156	C	B	低
オイルクーラー		0.288	B	B	中
圧縮機吸入ライン		0.149	C	A	中
圧縮機吐出ライン		0.101	C	A	中
C-3004圧縮機ライン		0.205	C	B	低
C-3005圧縮機ライン		0.147	C	B	低
一般バージ系貯気槽ライン		0.100	C	A	中
共通系貯気槽ライン		0.147	C	A	中
気蓄器系貯気槽ライン		0.111	C	B	低
TK-3004ライン		0.205	C	C	低
TK-3005ライン		0.158	C	C	低
TK-3006ライン		0.152	C	C	低
TK-3007ライン		0.215	C	C	低
TK-3008ライン		0.154	C	C	低
TK-3009ライン		0.228	C	C	低
TK-3010ライン		0.170	C	C	低
TK-3011ライン		0.151	C	C	低
回収ライン		0.141	C	A	中
移充填装置ライン		0.153	C	C	低

参考文献

- [1] 酒井信介：“リスクベース工学導入のための課題”，機械の研究, 第59巻, 第7号, (2007), 521-531
- [2] 木原重光, 富士彰夫 共著：“RBI/RBM 入門”，日本プラントメンテナンス協会, (2002)
- [3] 酒井信介：金属学会誌, 66, 1170, (2002).
- [4] 小林英男：日本機会学会誌, 106, 846, (2003)
- [5] API Publication581：Risk-Based Inspection Base Resource Document(2000)
- [6] 岡村弘之, 板垣浩 共著：“強度の統計的取扱い”，培風館, (1979)
- [7] 市川昌弘：“信頼性工学”，裳花房, (1990)
- [8] 酒井信介：：“リスクベース検査における機器の破損確率データベース収集のためのベイズ定理の応用（第一報 ベイズの定理の原理）”，圧力技術, 第42巻, 第5号, (2004), 284-290
- [9] 椎原裕美 他：“開発した世界初となる船用機関・機器を含めた回転機械の RBM システムの概要”，日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2008
- [10] JAXA：射点系保全手順書, 1998~2007

謝辭

本研究は、東京大学大学院工学系研究科 酒井信介教授の御指導のもとに進められました。酒井先生には、大変お忙しい中、様々な御指導、御鞭撻や助言等を戴きました。至らない私がこうして研究を一つの形としてまとめることが出来たのも、先生の御指導のおかげです。本当にありがとうございました。

また、本研究は、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同研究として行われてきました。JAXA 安全信頼性推進部の関田隆一様、青山和広様には、研究を進めていく上での指針を示して戴き、またある時には助言を戴きました。亀川大介様、小関様をはじめとする種子島宇宙センター技術課、射場運用課の皆様には、種子島へ調査に行った際に大変お世話になり、また、その後の研究を進めていく上でも様々なご協力を戴きました。多くの方のお力添えにより、研究を進めてくることが出来ました。この場を借りて篤くお礼申し上げます。

本研究を進めるにあたっては、泉聡志准教授、原祥太郎助教をはじめ、酒井・泉研究室の皆様にお世話になりました。研究室の先輩方にも研究の進め方、論文の書き方など具体的にアドバイスをいただき、とても参考になりました。本当にありがとうございました。

簡単ではありますが、以上をもって私の謝辞とさせていただきます。ありがとうございました。

以上

p.1~p.81 完

平成21年2月6日提出

70238 篠田 治人