

卒業論文

ロケット地上設備の
リスクベースメンテナンス評価

p.1~p.52 完

平成22年2月5日提出
指導教員 酒井 信介 教授
80233 滝川善之

目次

第1章	序論.....	5
1.1	研究背景.....	6
1.1.1	設備保全の事情.....	6
1.1.2	リスクベースメンテナンス(RBM:Risk-Based Maintenance).....	6
1.1.3	先行研究[5].....	7
1.2	研究目的.....	7
1.3	本論文の構成.....	8
第2章	故障率算出に関する理論.....	9
2.1	故障率.....	10
2.1.1	信頼度と故障率.....	10
2.1.2	バスタブ曲線[6][7][8].....	10
2.2	ベイズの定理[9].....	13
2.3	ベイズ推定の手順[9].....	14
2.3.1	事前分布の設定.....	14
2.3.2	ベイズの定理による更新.....	14
2.3.3	事後分布の評価.....	14
第3章	故障率の評価.....	16
3.1	評価の対象および故障の定義[5].....	17
3.2	故障率のモデル化.....	18
3.3	事前分布.....	19
3.3.1	事前分布の設定.....	19
3.3.2	解析手法.....	22
3.4	解析結果.....	22
3.5	考察.....	24
第4章	リスクの評価[5].....	25
4.1	影響度の定量的評価手法.....	26
4.1.1	影響度基本点.....	26
4.1.2	補正係数.....	30
4.1.3	総合評価.....	30
4.2	影響度評価の結果.....	31
4.3	リスクマトリクスの作成.....	32
4.4	リスク評価の結果.....	32
4.5	先行研究との比較.....	34
第5章	結論.....	35
A)	付録 影響度評価の結果.....	37
B)	付録 リスク評価の結果.....	43

謝辞	50
参考文献	51

図目次

Fig. 1-1 リスクマトリクス	7
Fig. 2-1 バスタブカーブ	12
Fig. 2-2 メンテナンスを行うことにより期待されるバスタブカーブ	12
Fig. 2-3 ベイズの定理	13
Fig. 2-4 ベイズ推定の手順	14
Fig. 2-5 $100 \times (1-k)\%$ 確信区間	15
Fig. 3-1 HGS の He 供給所の系	18
Fig. 3-2 機器内部に 40MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障率	21
Fig. 3-3 機器内部を 20MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障率	21
Fig. 3-4 機器内部をヘリウム, 水, オイルの液体 (1MPa 程度) が通っている機器の故障率	21
Fig. 3-5 H MV-3354 における α, β の初期分布	23
Fig. 3-6 H MV-3354 における 2007 年度の更新による α, β の事後分布	23
Fig. 3-7 ベイズの定理を用いた H MV-3354 の故障率の更新	24
Fig. 4-1 C-3004 圧縮機を用いた TK-3004 への He ガス供給経路	28
Fig. 4-2 C-3004 圧縮機を用いた TK-3004 への He ガス供給経路	28
Fig. 4-3 TK-3004 から VAB へのガス供給経路	29
Fig. 4-4 TK-3004 から VAB へのガス供給経路	29
Fig. 4-5 リスクマトリクス	32
Fig. 4-6 リスクマトリクス パターン1	33
Fig. 4-7 リスクマトリクス パターン2	33
Fig. 4-8 リスクマトリクス パターン3	33
Fig. 4-9 先行研究でのリスクマトリクス	34

表目次

Table 3.1 本研究において用いる故障記録の扱い (例. H MV-3354)	19
Table 3.2 機器内部に 40MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障データ	20
Table 3.3 機器内部に 20MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障データ	20
Table 3.4 機器内部にヘリウム, 水, オイルの液体 (1MPa 程度) が通っている機器の故障データ	20
Table 4.1 Point ranking	26

Table 4.2	補正係数.....	30
Table 4.3	影響度評価.....	31
Table 4.4	ランク分けの検討.....	32
Table A.1	影響度評価.....	38
Table B.1	リスク評価.....	44

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、老朽化した設備に様々なメンテナンスや延命策を施し、今日も稼働させている場合が多い[1]。これは、宇宙ロケット地上設備に関してもあてはまる。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であるH-2Bの発射設備は、二代前の主力ロケットである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。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に引き続きメンテナンスや延命策を施し、稼働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働を続けていく必要がある。一方で、商業用ロケット産業において、国際的な競争力の向上をはから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。そのため、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きた。しかし、今まで行われてきたメンテナンスでは、最初に決められたメンテナンス方法や頻度に従い、同じメンテナンスを繰り返してきた。そこで、昨年度より、現場の状況に合わせたメンテナンスが可能なリスクベースメンテナンスが取り入れられるようになった。

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立てる手法である[2]。ここでいう『リスク』とは、ある時限の間に、故障が発生する確率と、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関しては検査を集中することでリスクを軽減し、メンテナンスを効率的に行えるようにできる。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。

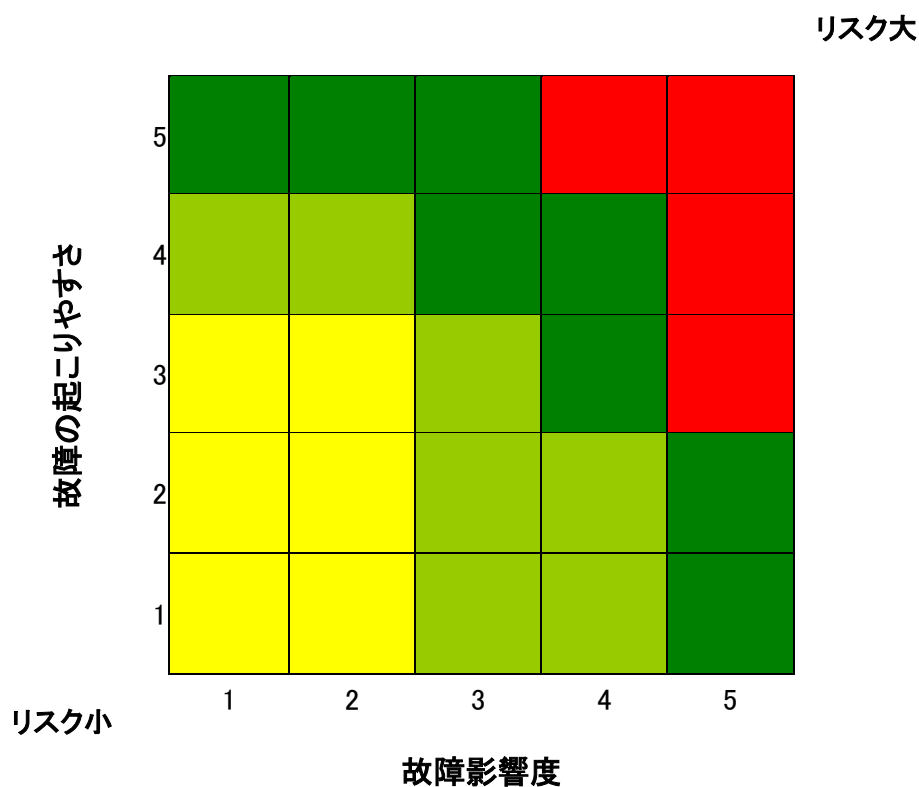


Fig. 1-1 リスクマトリクス

1.1.3 先行研究[5]

2008 年度に行われた篠田らによる先行研究において, JAXA とともに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が行われ, 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が試みられた. また, JAXA が行った影響度の調査と合わせることでリスクの評価を行った.

先行研究では, 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過去の検査データをもとに更新をおこなった. しかし, 対象機器の検査は毎年行われるわけではなく, データが無い年が存在し, また, ある機器自体の検査記録がないものも存在したため, そういった機器に関しては, 安全弁なら安全弁といった同種の機器の故障記録で, 存在しないデータを補した. これらにより, 対象範囲の機器の故障率の大小を明示することができるようになった. また, 先行研究により算出された故障率と JAXA に作成を依頼した影響度を組み合わせることで, リスクマトリクスの作成が可能となった. 作成したマトリクスをもとに, 機器のリスクランクを示し, リスクの高低を示すことができるようになった. 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になったと考えられる.

1.2 研究目的

- ・対象機器を先行研究と同様の JAXA 種子島宇宙センター高圧ガス貯蔵供給所(HGS)の GHe 供給設備とし, 先行研究により開発された故障率評価法の故障率の近似式, 機器の分類方法の変更と欠損データの扱いを改良し, 対象範囲の機器の故障率を算出する.

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改良し, 実際に各機器匠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れず、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、

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

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

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。

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

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。よって、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[6][7][8]

一般に、部品の故障率は Fig. 2-1 に示すような時間的変化をすることが多い。このような曲線はバスタブカーブと呼ばれる。

バスタブカーブは時間経過ごとに、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。

その後、故障率は低いところでほぼ一定となる。この領域を、偶発故障期と呼ぶ。時間的にランダムにさまざまな要因で偶発的に故障が発生する。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。

初期故障期、偶発故障期にかんしては、部品交換や定期検査を行っても、故障率を下げることは難しい。磨耗故障期にかんしては、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。つまり、磨耗故障期の故障率がさがり、Fig.2-2 のような曲線となるようにメンテナンスが行われることが望まれる。

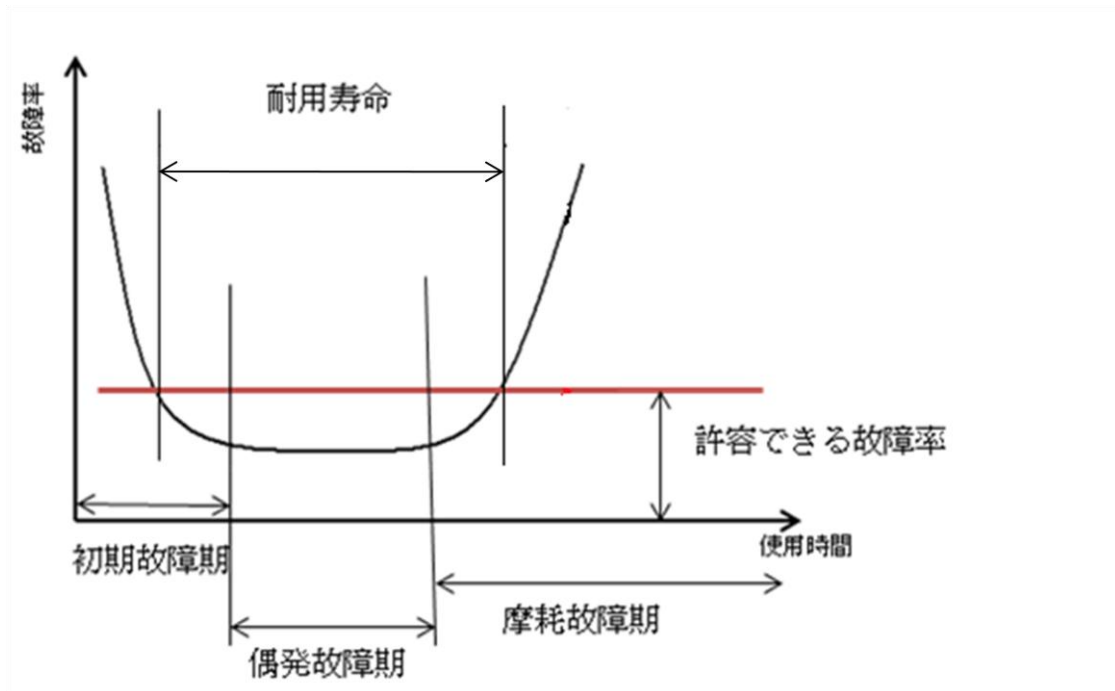


Fig. 2-1 バスタブカーブ

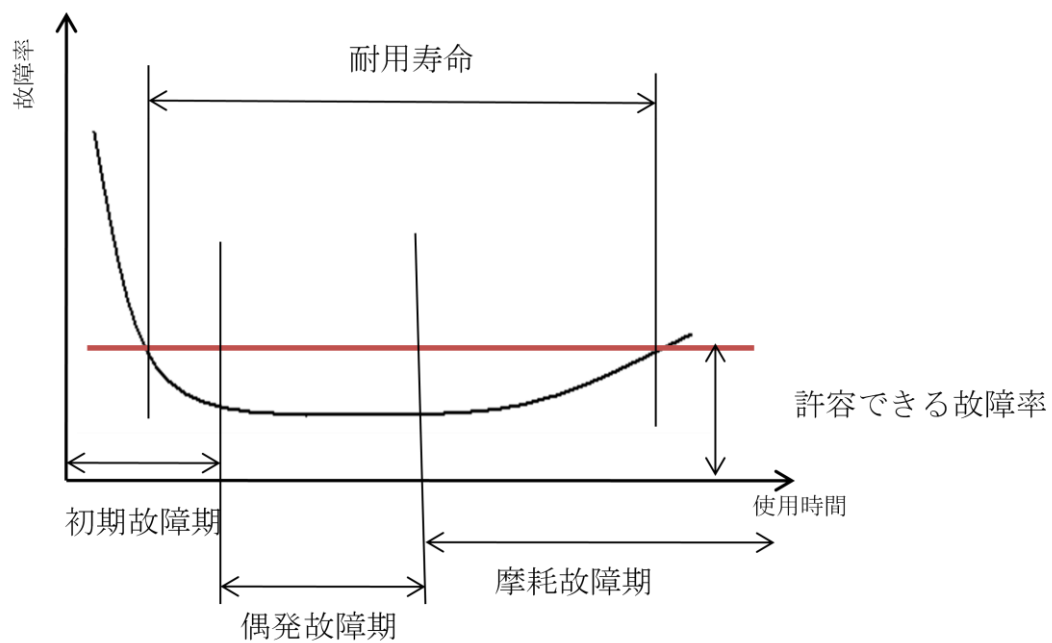


Fig. 2-2 メンテナンスを行うことにより期待されるバスタブカーブ

2.2 ベイズの定理[9]

ベイズ推定の核をなすベイズ推定について解説する. 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.

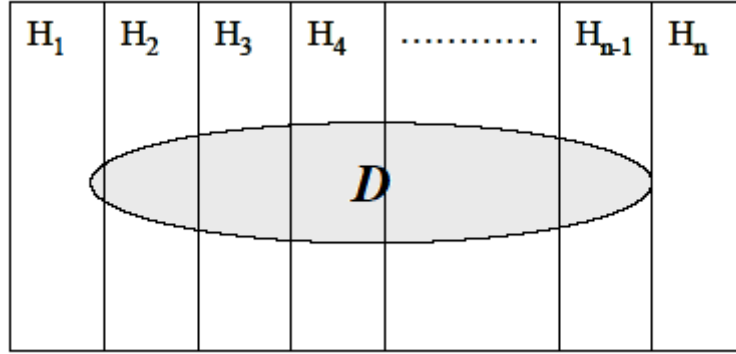


Fig. 2-3 ベイズの定理

このとき, データ D が得られて, かつ, その原因が仮説 H_i である確率 $P(D \cap H_i)$ は式(2.)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, 式(2.)の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.)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[9]

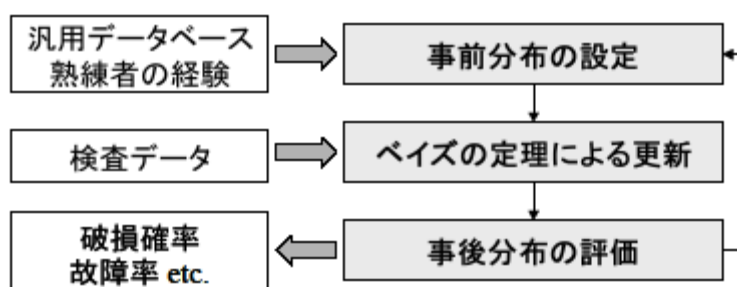


Fig. 2-4 ベイズ推定の手順

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。ベイズ推定において事前分布は、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。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、この情報を盛り込んだ事前分布を与えることができる。事前情報とは、類似の機器に共通して使えるデータベースや熟練者の経験に基づく情報などである。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推定に利用することができる。このため、客観的に事前分布を決定できないので、確率というよりも確信度と呼ぶほうが適当である[8]。以後、新たな情報を得るたびに、前回の事後分布を新たな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できる。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よく行うことができる。

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き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 $100 \times 2/k\%$ の区間を除いた、中央部の区間である。

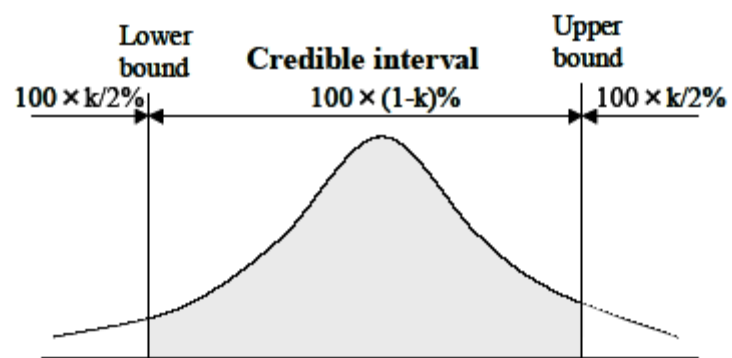


Fig. 2-5 $100 \times (1-k)\%$ 確信区間

第3章 故障率の評価

本章では、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改良し、実際に各機器の故障率の算出を行う。

3.1 評価の対象および故障の定義[5]

本研究で対象とした設備は、先行研究と同様に、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。このため、機器の機能が失われた状態、または、点検において機器の機能が失われてしまうと判断されたものを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いかったり、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仮定を立てることにより、研究を行った。

- ・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。
- ・かかっている圧力が分からない機器に関しては HGS ヘリウム圧縮機の系統図をもとに周辺機器と同様の圧力がかかっているもととした。

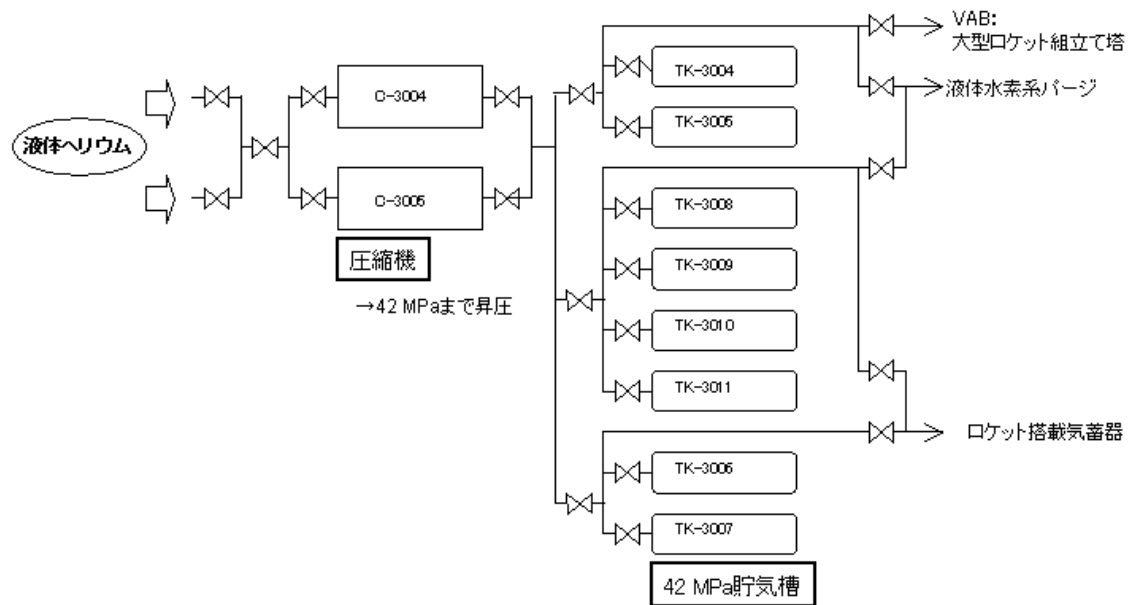


Fig. 3-1 HGS の He 供給所の系

3.2 故障率のモデル化

本研究の故障率の評価においては、先行研究と同様に摩耗故障に着目し、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、近似する関数を指数関数から、故障率においてよく使われるワイブル関数に変更する。

故障率 $\lambda(t)$ は機器の使用年数 t の関数として

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} \quad (3.1)$$

と表す。ここで、 α は形状母数、 β は尺度母数であり、機器ごとにそれぞれ異なる値をとる。この関数は、 $\alpha < 1$ のときは初期故障期、 $\alpha = 1$ のときは偶発故障期、 $\alpha > 1$ のときは摩耗故障期の故障率を表す。ただし、本研究では摩耗故障にのみ着目するので、 $\alpha > 1, \beta > 0$ となる。各機器の故障率を求めるためには、 α, β を推定する必要がある。

一方、 t 年までに故障する確率を $F(t)$ 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)を代入すると

$$\frac{dF}{1-F} = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} dt \quad (3.3)$$

となる。両辺を 0 から t まで積分すると、 $F(0) = 0$ より

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (3.4)$$

となる.

また, 第2章 2.1.1 項 式(2.3)に式(3.4)を代入すると, 寿命の密度分布関数 $f(t)$

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} t^{\alpha-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (3.5)$$

を得る.

3.3 事前分布

3.3.1 事前分布の設定

先行研究により得られたデータから, 使用年数のわかるデータを抽出し, 同圧力下で使われている機器ごとにまとめなおした. かかっている圧力の分類としては, 機器内部をガスが通っているものに関しては, 高圧力(40MPa程度), それ以外の圧力(20MPa程度), の2つに分類し, 内部を液体が通っているものに関しては, ヘリウム, 水, オイル(1MPa程度)をまとめ, 全体として3つに分類した. 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, 機器全体として影響が出ていないということで, 検査を行い合格した場合と同じ「0」と同等と考えるものとする. 例として, Table3-1 に H MV-3354 の故障記録を挙げる. 機器は, 故障があった場合には交換され, ほとんどの機器については使用され続ける. ただし, 一部の機器については定期的な交換が義務付けられているため, その機器については, 定期交換により交換された年度に使用時間をリセットするがこのデータは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. そのため, 使用開始年度がわからない機器に関しては, 1997年に使用を開始したものとした.

Table 3.1 本研究において用いる故障記録の扱い(例. H MV-3354)

Tag No.	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H MV-3354			1	0			0	1	1	0

1・・・故障 0・・・故障なし 空欄・・・検査なし



Tag No.	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
H MV-3354	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0

1・・・故障 0・・・故障なし

本研究では、推定する母数 α , β はともに 0 より大きくなるので、それぞれの事前分布として、この条件を満たす対数正規分布を用いる。対数正規分布の密度関数は

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x \sigma}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \ln(\mu)}{\sigma} \right)^2 \right\} \quad (3.6) \text{であり, } \mu \text{ は } x$$

の平均, σ は $\ln(x)$ の標準偏差である。

α , β のそれぞれが対数正規分布であると仮定するので、与える事前分布は

$$f(\alpha, \beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \alpha \sigma_\alpha} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(\alpha) - \ln(\mu_\alpha)}{\sigma_\alpha} \right)^2 \right\} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi} \beta \sigma_\beta} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(\beta) - \ln(\mu_\beta)}{\sigma_\beta} \right)^2 \right\} \quad (3.6)$$

となる。本研究では、 α , β には下表(あとで入れる)をもとに Gnuplot を用い近似して求めた値を入れ、 μ_α ,

μ_β には α , β と COV(変動係数)から求めた値を入れる。その値を求める式は

$$\mu = \frac{\text{平均}}{\text{COV}} \quad (3.7)$$

である[7]。

Table 3.2 機器内部に 40MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障データ

使用年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
機器数	259	225	181	154	146	143	131	121	96	84
故障機器数	17	14	16	6	3	10	10	25	12	4
故障率	0.0656	0.0622	0.03896	0.020	0.0699	0.07633	0.07633	0.206	0.125	0.0476

Table 3.3 機器内部に 20MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障データ

使用年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
機器数	43	42	39	37	32	32	25	23	20	19
故障機器数	0	2	2	2	0	2	0	1	1	2
故障率	0	0.044	0.031	0.0338	0	0.0434	0	0.0256	0.0857	0.0937

Table 3.4 機器内部にヘリウム, 水, オイルの液体(1MPa 程度)が通っている機器の故障データ

使用年数	1	2	3	4	5
機器数	190	184	168	153	145
故障機器数	1	5	5	4	0
故障率	0.00526	0.0272	0.0298	0.026	0

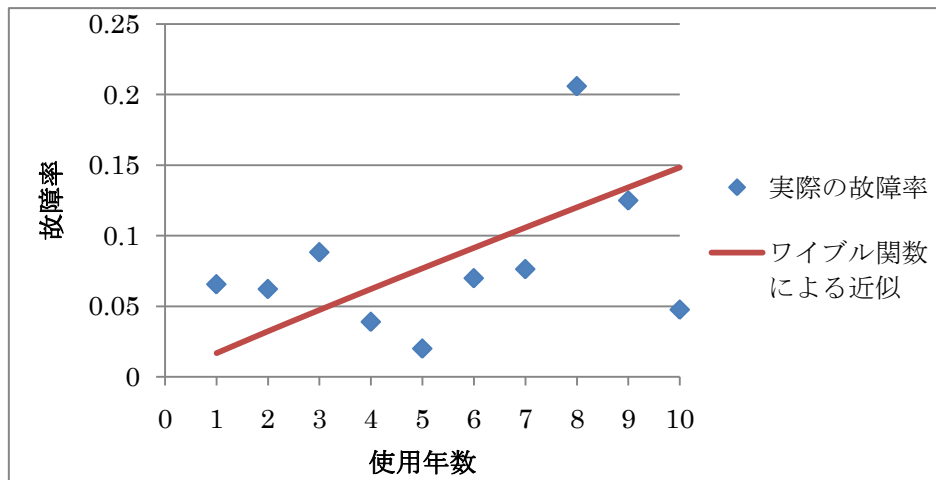


Fig. 3-2 機器内部に 40MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障率

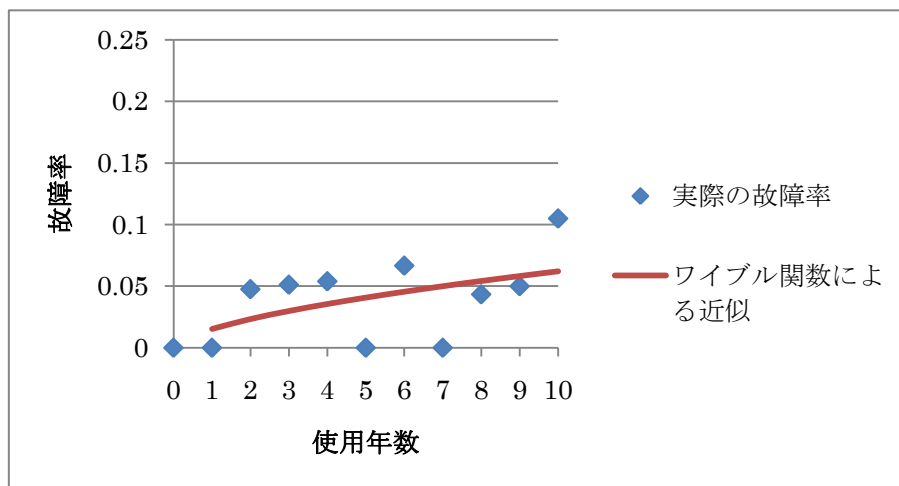


Fig. 3-3 機器内部を 20MPa 程度のヘリウムガスが通っている機器の故障率

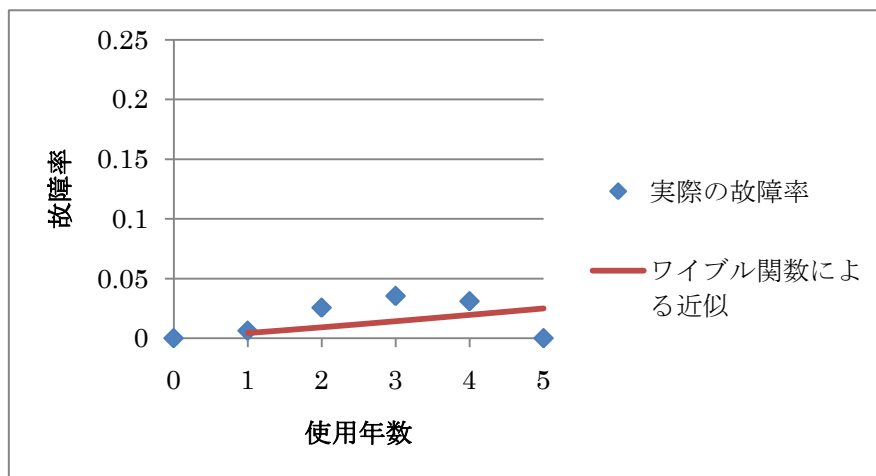


Fig. 3-4 機器内部をヘリウム, 水, オイルの液体(1MPa 程度)が通っている機器の故障率

3.3.2 解析手法

本研究において、得られるデータ D として、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(safe)と故障が発生した事象(failure)の二通りがある。尤度 $P(D|\alpha,\beta)$ は今回の検査で新たに得られた事実を反映したものであるため、前回の検査時点で故障が発生していないという条件付き確率を与えることが妥当である。具体的な尤度 $P(D|\alpha,\beta)$ の式として、故障が発見されなかった場合の尤度を $P(\text{safe}|\alpha,\beta)$ 、故障が発見された場合の尤度を $P(\text{failure}|\alpha,\beta)$ とすると

$$P(\text{safe}|\alpha,\beta) = 1 - F(t_i) = \exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\beta}\right)^\alpha\right\}$$

$$P(\text{failure}|\alpha,\beta) = F(t_i) - F(t_{i-1}) = -\exp\left\{-\left(\frac{t_i}{\beta}\right)^\alpha\right\} + \exp\left\{-\left(\frac{t_{i-1}}{\beta}\right)^\alpha\right\}$$

と表わされる。更新された事後分布から α,β の値を点推定する。すなわち、分布の最頻値を α,β として故障率を求める。使用年数については、1998 年以前のデータは全くないため、使用開始年度が分からない機器に関しては 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は機器は交換されることになるので、使用年数をリセットし、その年度を使用開始年度として故障率を算出する。また、故障と有無とは別の機器が交換された場合にも、使用年数をリセットする。

更新された事後分布から α,β の値を点推定する。すなわち、分布の最頻値を α,β 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、使用開始年度がわからない機器については 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。

3.4 解析結果

例として、H MV-3354 の α,β 初期分布と、2007 年度の更新による事後分布を Fig.3-5, Fig.3-6 に示す。また、この結果による H MV-3354 の故障率変化を Fig.3-7 に示す。

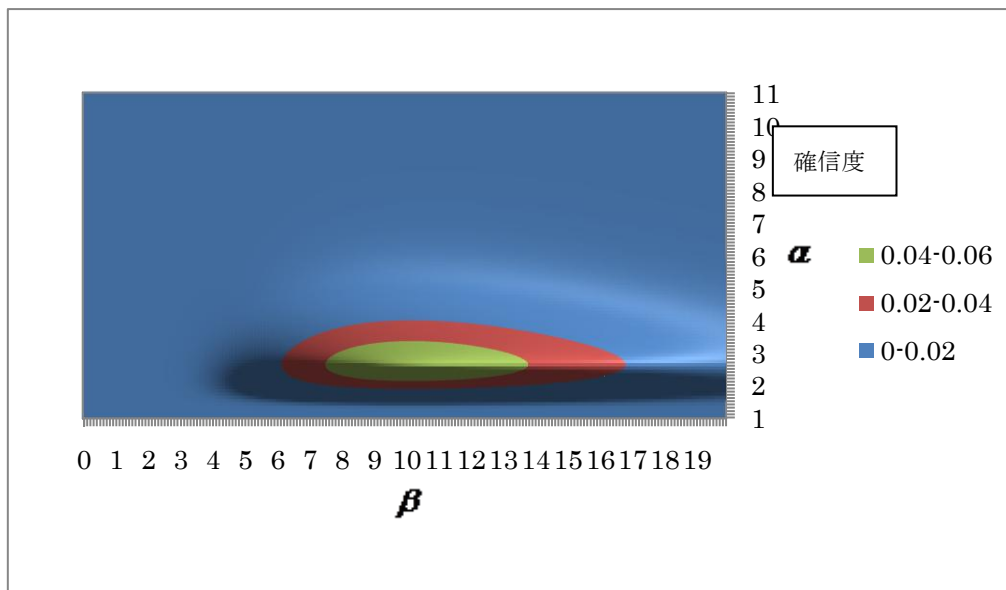


Fig. 3-5 HMV-3354 における α, β の初期分布

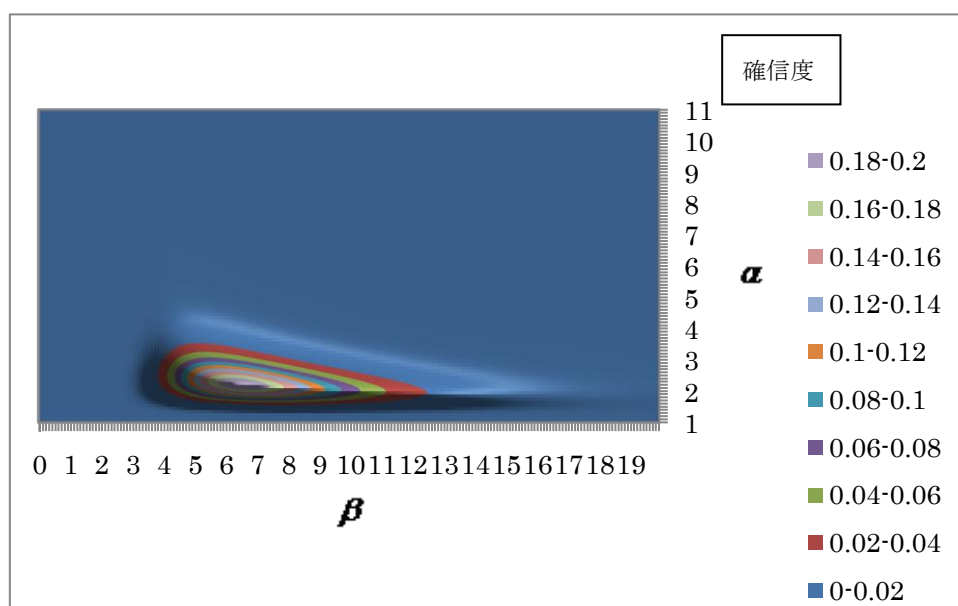


Fig. 3-6 HMV-3354 における 2007 年度の更新による α, β の事後分布

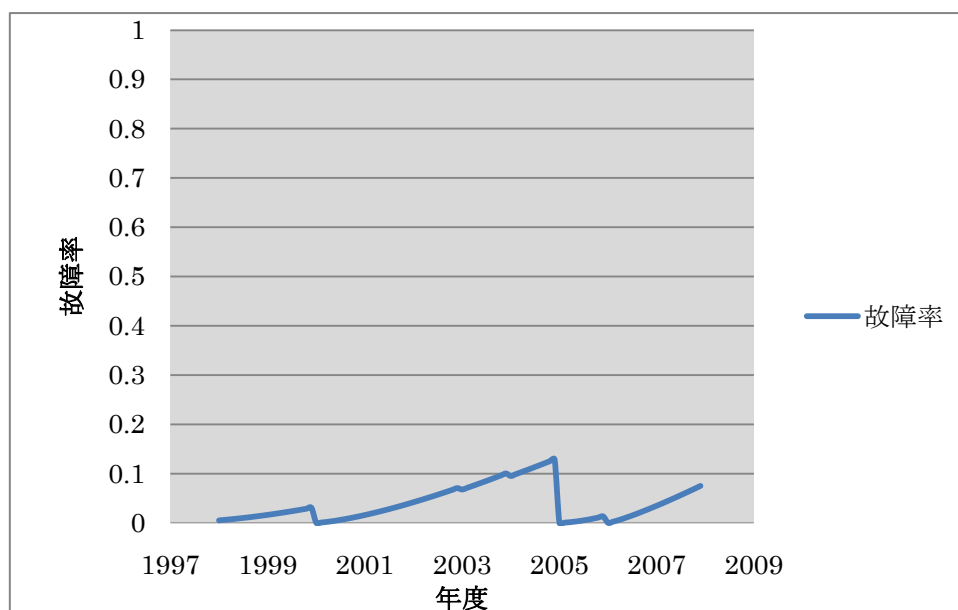


Fig. 3-7 ベイズの定理を用いた HMV-3354 の故障率の更新

3.5 考察

本章では、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、各機器の故障率を算出していった。ベイズの定理による更新を行うことで、 α, β の確信度が高くなり、確信区間が狭まった。故障が無かった場合 α はほとんど変更されず、 β は増加する。つまり、近似式の形状は変化せず、故障率が低くなる。逆に、故障があった場合は、故障率が増加する方向に α, β が変化する。つまり、近似式の形状が変化し、故障率が高くなることが分かる。

機器を圧力ごとに分類したのだが、高圧力の機器は他機器に比べて故障率が高く算出された。このことから、圧力による機器の分類は有効であったと考えられる。

また、故障率の近似式、分類方法の変更と欠損データの扱いを変更することにより、機器全体として、先行研究に比べて故障率が低く推定された。

故障率評価結果については付録 B を参照。

第4章 リスクの評価[5]

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、その結果を示す。

4.1 影響度の定量的評価手法

本研究においては、先行研究と同様の影響度評価を用いる。

以下に先行研究において行われた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。

- i .I/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), VAB へ He を供給できず, ロケット(機体)へのパージ供給不可となり, ロケット(機体)が損傷する.
- ii .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)へのパージ供給不可となり, 打ち上げが遅延する.
- iii .ロケット打ち上げ当日, 射点(LP1)へ He を供給できず, 気畜器への供給不可となり, 打ち上げが遅延する.
- iv .I/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 Table4-1 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

4.1.1 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、上記の i ~iv 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。たとえば、「タンク①とタンク②から VAB へ同時に He を供給するタスクについては「タンク①から VAB へ He を供給するタスク」と「タンク②から VAB 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も、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 VAB(大型ロケット組立塔)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 VAB(大型ロケット組立塔)に高圧ヘリウムガスを供給するタスクである。このようにして、すべ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。

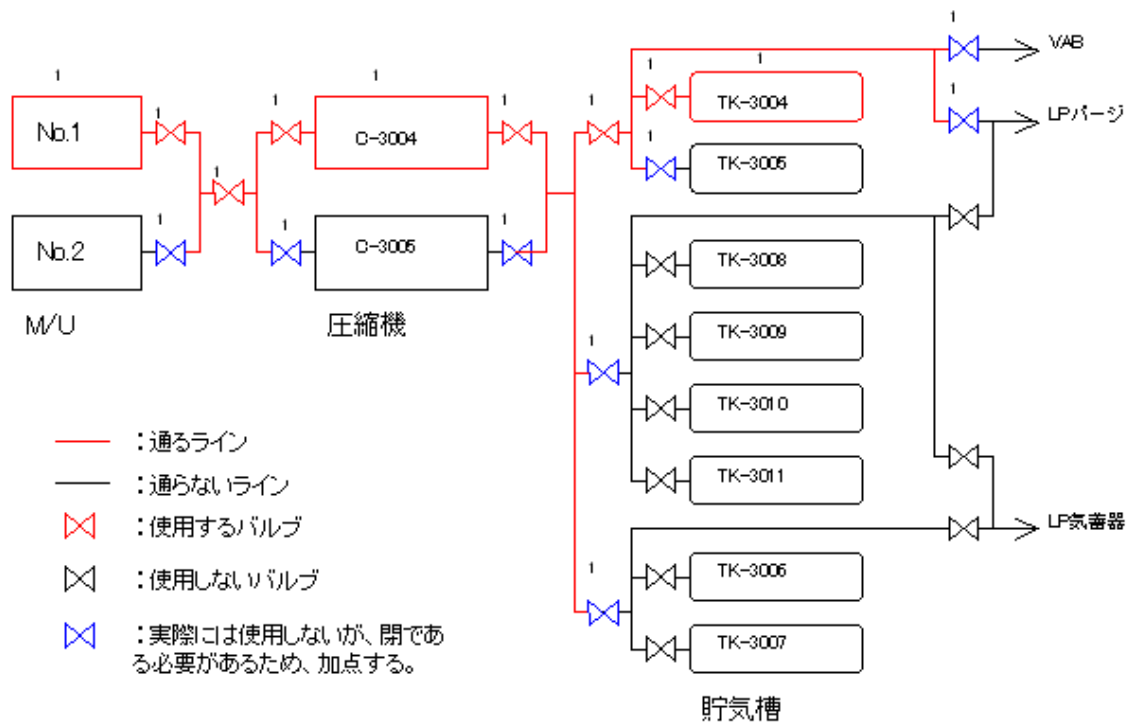


Fig. 4-1 C-3004 圧縮機を用いた TK-3004 への He ガス供給経路

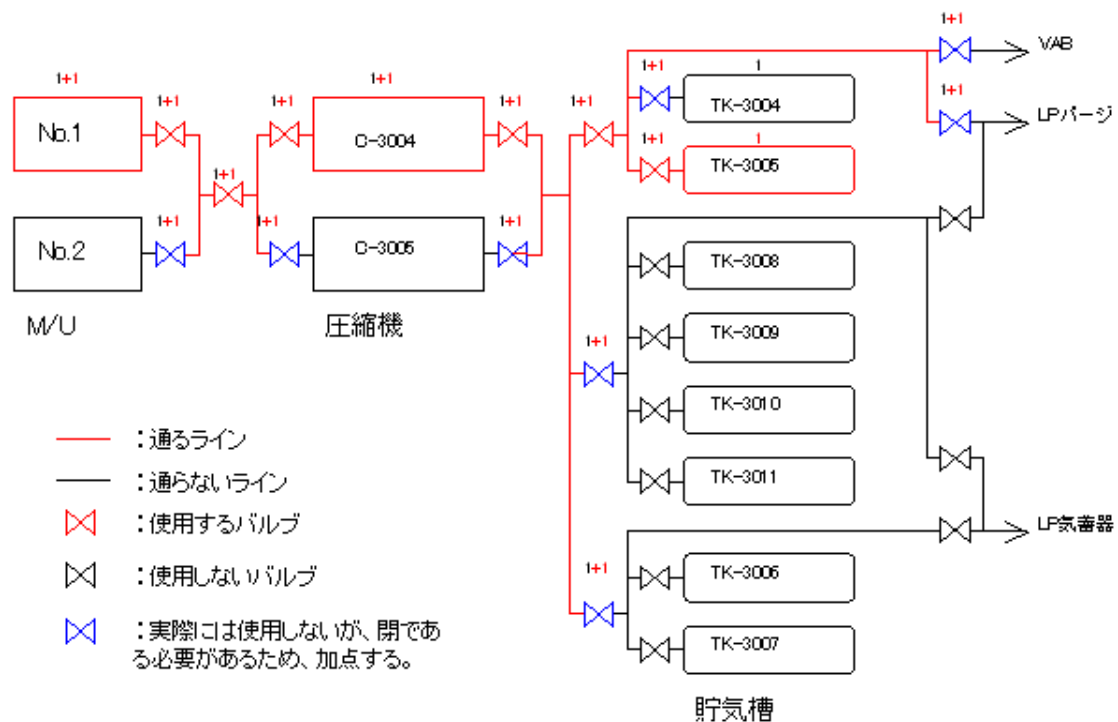


Fig. 4-2 C-3004 圧縮機を用いた TK-3004 への He ガス供給経路

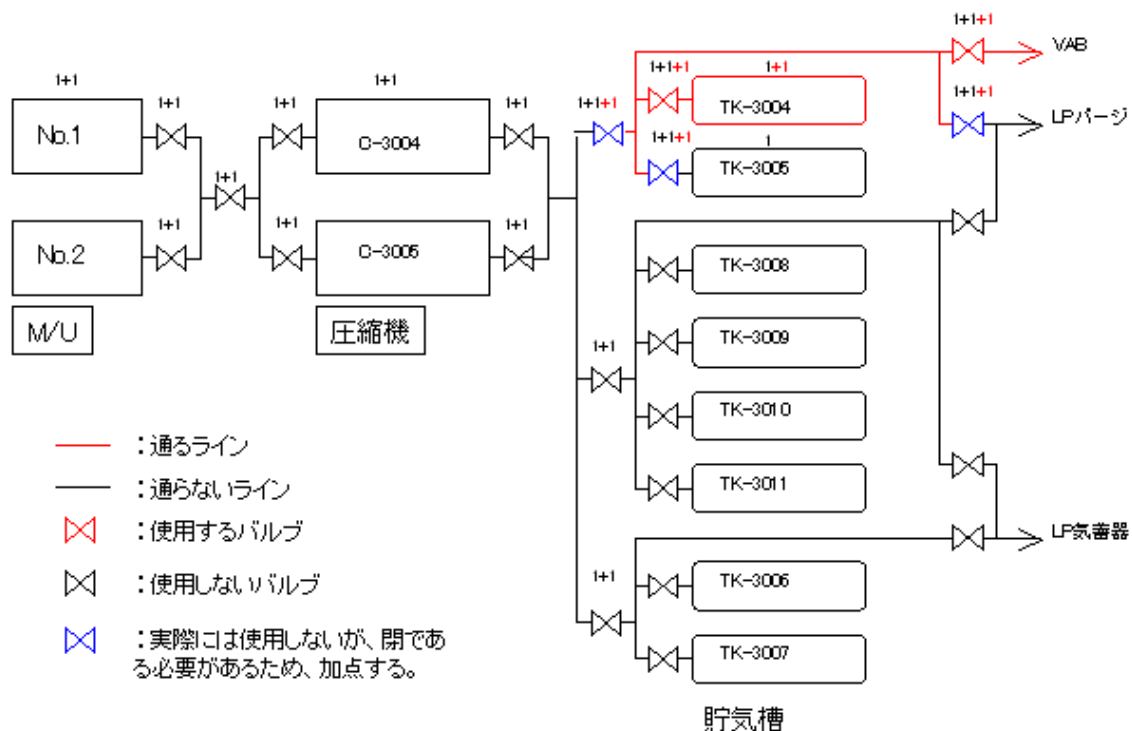


Fig. 4-3 TK-3004 から VAB へのガス供給経路

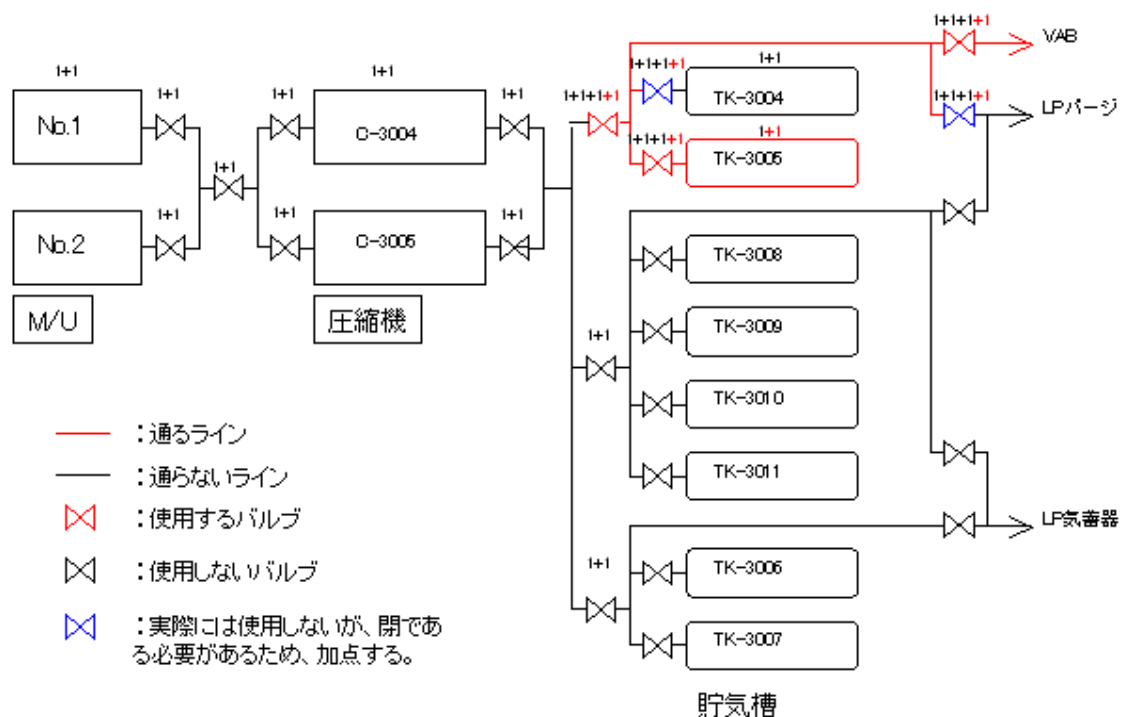


Fig. 4-4 TK-3004 から VAB へのガス供給経路

4.1.2 補正係数

今回の評価方法では、同じラインにある機器はすべ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やすいか交換し難いかでランク分けをして、係数をかけることとする。以下 Table4-2 に、各機器の係数を示す。

Table 4.2 補正係数

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	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

4.1.3 総合評価

総合評価として、4つの事象に対して算出した影響度ランクの中で、いずれかに「A」ランクが入っていれば「A」、 「A」ランクがいずれにも入っておらず、「B」ランクがいずれか入っていれば「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。

4.2 影響度評価の結果

以下 Table4-3 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Aを参照.

Table 4.3 影響度評価

		VAB供給	LPパージ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
要素	TAG No.					
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受入ラインバント弁1	HMV-3305	C	C	C	C	C
GHe受入ラインバント弁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	A	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	A	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	A	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	A	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	B	C
HRV-3321元弁	HMV-3337	C	C	C	B	C
GHe圧縮機と出ラインバント弁1	HMV-3338	C	C	C	C	C
GHe圧縮機と出ラインバント弁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
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	A	B
一般パージ系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	B	C
PG-3333バント弁	HMV-3425	C	C	C	B	C
PG-3334元弁	HMV-3426	C	C	C	B	C
PG-3334圧力校正ポート元弁	HMV-3427	C	C	C	B	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	B	C
GHe回収圧力計	PG-3334	C	C	C	B	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バント弁	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
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

4.3 リスクマトリクス作成

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。Fig4-5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」として色分けする。

故障率のランク分けについては、決まりはなく、いくつかの区切り方を検討した。本研究では、以下の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。s

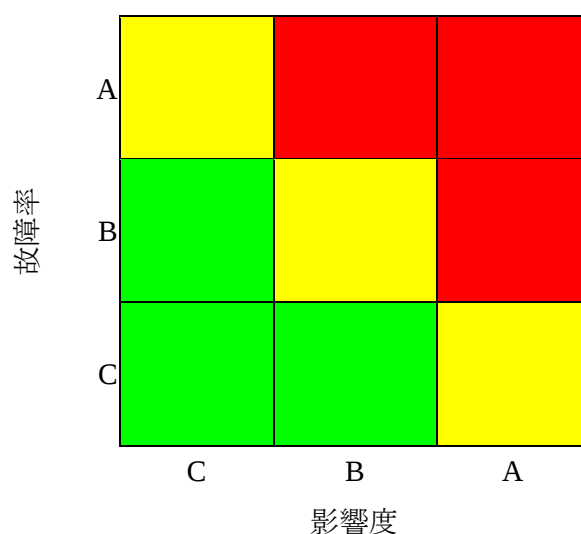


Fig. 4-5 リスクマトリクス

Table 4.4 ランク分けの検討

	パターン 1	パターン 2	パターン 3
A ランク	0.15~1	0.15~1	0.10~1
B ランク	0.03~0.15	0.04~0.15	0.05~0.10
C ランク	0~0.03	0~0.04	0~0.05

4.4 リスク評価の結果

前節 Table4-4 で示した故障率の区切り方について、それぞれリスクマトリクスを作成した。その結果をFig4-6~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。

全機器のリスクのリストについては、付録Bを参照。

リスクベースメンテナンスでは、どのような故障率の分類が正しいということではなく、用途に合わせて故障率や影響度の区切り方を選ぶことが出来る。重要個所を少なくしたい場合はパターン1を用い、重要個所を少なくし更にメンテナンスを簡略化したい個所を多くしたい場合はパターン2を用い、全体的にばらつきをもたせたい場合はパターン3を用いる、といった選択が可能である。

故障率	A	1	5	0
	B	135	119	20
	C	61	65	14
		C	B	A
		影響度		

Fig. 4-6 リスクマトリクス パターン1

故障率	A	1	5	0
	B	82	45	20
	C	114	139	14
		C	B	A
		影響度		

Fig. 4-7 リスクマトリクス パターン2

故障率	A	38	20	16
	B	99	107	5
	C	60	62	13
		C	B	A
		影響度		

Fig. 4-8 リスクマトリクス パターン3

4.5 先行研究との比較

故障率の近似式, 分類方法の変更と欠損データの扱いを変更することにより, 機器全体として, 故障率が低く算出された. この理由としては,

- ・ワイブル関数が故障率を表すのに適しているため. 分類方法として圧力で機器を分類したため.
 - ・欠損データを, 故障していないという仮定をおくことにより, 毎年必ず更新が行われるようになったため.
 - ・先行研究では, 一度も故障していない機器を α, β の初期分布に含めていなかったもので, そのデータを初期分布に盛り込むことにより母数が増え, 最初に与える分布が実際に近づいたため.
- と考えられる.

リスク評価結果, また先行研究との比較については付録 B を参照.

Fig.4-7(本研究におけるリスクマトリクス)と Fig4-9(本研究におけるリスクマトリクス)を比較すると, 故障率ランクは任意に変更でき, 影響度が先行研究と同様のものを使ったので, リスクマトリクスとしては似通ったものとなった.

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

Fig. 4-9 先行研究でのリスクマトリクス

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.

- ・対象機器を圧力ごとにまとめなおすことにより、常に高圧を受けている部分では故障率が高くなり、低圧を受けている部分では故障率が低くなるため、高圧部にメンテナンスを集中させるのがよいと考えられる。
- ・欠落データの扱いを変更したことと、 α, β の初期分布を与えるための機器の扱いを変更したことにより、先行研究ではかなり高めに算出されていた故障率をより実際に近い値で算出することが可能になった。
- ・リスクマトリクス作成ににおいて故障率ランクを任意に決定可能なので、目的にあわせた設定が必要となる。

A) 付録 影響度評価の結果

第4章で行った影響度評価の全機器の結果を示す.

Table A.1 影響度評価

要素	TAG No.	VAB供給	LPページ	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	A	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	A	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	A	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	A	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	B	C
HRV-3321元弁	HMV-3337	C	C	C	B	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
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	A	B
一般バージス系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	B	C
PG-3333ベント弁	HMV-3425	C	C	C	B	C
PG-3334元弁	HMV-3426	C	C	C	B	C
PG-3334圧力校正ポート元弁	HMV-3427	C	C	C	B	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	B	C
GHe回収圧力計	PG-3334	C	C	C	B	C
TK-3004元弁	HMV-3326	A	C	C	C	A
HRV-3322元弁	HMV-3342	C	C	C	B	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
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
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
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

要素	TAG No.	VAB供給	LPバージ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
TK-3007圧力計	PG-3325	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
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
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
TK-3011元弁	HMV-3429	B	B	B	B	B
HRV-3331元弁	HMV-3430	C	C	C	C	C
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	B	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圧力校正ポート元弁	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	B	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
一般バージ系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圧力校正ポート元弁	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供給弁パイパス	HMV-3354	B	C	C	C	B
PG-3329元弁	HMV-3367	C	C	C	B	C
PG-3330元弁	HMV-3368	C	C	C	C	C
一般バージ系420KGHe供給弁1	HNH-3320	A	B	C	B	A
一般バージ系420KGHe供給弁2	HNH-3321	B	A	A	A	A
気蓄器充填系420KGHe供給弁1	HNH-3322	B	A	A	A	A
気蓄器充填系420KGHe供給弁2	HNH-3323	C	C	A	B	A
一般バージ系420KGHe供給弁1(パイパス)	HNH-3324	A	C	C	B	A
一般バージ系420KGHe供給弁2(パイパス)	HNH-3325	B	A	B	A	A
気蓄器充填系420KGHe供給弁1(パイパス)	HNH-3326	B	B	B	A	B
気蓄器充填系420KGHe供給弁2(パイパス)	HNH-3327	C	C	C	B	B
一般バージ系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	B	C
気蓄器充填系GHe圧力計	PG-3330	C	C	C	C	C
一般バージ系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	A	B
気蓄器充填系GHe圧力発信器	PX-3330	C	C	C	B	B
一般バージ系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供給ラインサン	HMV-3355	A	C	C	C	A
一般バージ系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供給フィルタ	HFL-3321	A	C	C	C	A
一般バージ系420K GHe供給フィルタ	HFL-3322	C	A	C	C	A
気蓄器充填系420K GHe供給フィルタ	HFL-3323	C	C	A	C	A
吸入ガス止め弁1	MV-3381	C	C	C	B	B
吸入ガスベント弁1	MV-3382	C	C	C	C	C
パイパス弁1	HMV-3383	C	C	C	B	C
PG-3337元弁	MV-3384	C	C	C	C	C
PG-3337圧力校正ポート元弁	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	B	C
PG-3338元弁	HMV-3389	C	C	C	C	C
PG-3338圧力校正ポート元弁	HMV-3390	C	C	C	C	C
RV-3338元弁	MV-3391	C	C	C	B	C
PS-3302元弁	MV-3392	C	C	C	C	C

要素	TAG No.	VAB供給	LPバージ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
PS-3302ベント弁	MV-3393	C	C	C	C	C
HRV-3335元弁	HMV-3394	C	C	C	B	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
吸入ガス圧カススイッチ	PS-3305	C	C	C	C	C
吐出ガス圧カススイッチ	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カススイッチ	PS-9301	C	C	C	C	C
油潤滑用レギュレータ	PR-9301	C	C	C	B	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	IMV-8333	C	C	C	B	B
1段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力校正	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
2段ダイヤフラム冷却系圧力計元弁	IMV-8341	C	C	C	B	B
2段ダイヤフラム冷却系圧力計圧力校正	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	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

要素	TAG No.	VAB供給	LPページ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
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段ダイア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段ダイア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
ダイアフラム板		C	C	C	B	B
パフォレート板		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
ダイアフラム板		C	C	C	B	B
パフォレート板		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
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1	MV-3399	C	C	C	C	B
吸入ガスベント弁1	MV-3400	C	C	C	C	C
バイパス弁1	HMV-3401	C	C	C	B	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	B	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	B	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	B	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
低圧側ダイアフラム破裂表示器1	PS-3303	C	C	C	C	C
高圧側ダイアフラム破裂表示器1	PS-3304	C	C	C	C	C
吸入ガス圧カススイッチ	PS-3307	C	C	C	C	C
吐出ガス圧カススイッチ	PS-3308	C	C	C	C	C
吸入ガスフィルタ	FI-3302	C	C	C	B	B
一段吐出ガスフィルタ	HFI-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

要素	TAG No.	VAB供給	LPバージ	LP気蓄器	充填/回収	最終評価
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
潤滑油ポンプ出口ガススイッチ	PS-9302	C	C	C	C	C
油潤滑用レギュレータ	PR-9302	C	C	C	B	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
油圧アンローダ用電磁弁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
1段ダイアフラム冷却系元弁	MV-8361	C	C	C	B	B
1段ダイアフラム冷却系ベント弁	MV-8362	C	C	C	B	B
1段ダイアフラム冷却系圧力計元弁	MV-8363	C	C	C	B	B
1段ダイアフラム冷却系圧力計圧力校正ボ	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正ボ	MV-8368	C	C	C	B	B
2段ダイアフラム冷却系元弁	MV-8369	C	C	C	B	B
2段ダイアフラム冷却系ベント弁	MV-8370	C	C	C	B	B
2段ダイアフラム冷却系圧力計元弁	MV-8371	C	C	C	B	B
2段ダイアフラム冷却系圧力計圧力校正ボ	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正ボ	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ボ	MV-8380	C	C	C	B	B
1段ダイア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段ダイア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段ダイア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段ダイア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段ダイア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段ダイア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段ダイアフラム冷却水フロースイッチ	FS-8306	C	C	C	C	C
1段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8307	C	C	C	C	C
2段ダイアフラム冷却水フロースイッチ	FS-8308	C	C	C	C	C
2段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8309	C	C	C	C	C
油ライン冷却水フロースイッチ	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
ダイアフラム板		C	C	C	B	B
パフォレート板		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
ダイアフラム板		C	C	C	B	B
パフォレート板		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
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

B) 付録 リスク評価の結果

第3章で行った故障率の算出結果と先行研究との比較, 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. 故障度ランクはパターン1のときのものを用いた.

Table B.1 リスク評価

要素	TAG No.	2008年故障率	先行研究による 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	0.065	0.135	B	C	低
GHe受入元弁2	HMV-3302	0.096	0.306	B	C	低
GHe送給元弁	HMV-3303	0.003	0.079	C	A	中
GHe受入ラインベント弁1	HMV-3305	0.065	0.135	B	C	低
GHe受入ラインベント弁2	HMV-3306	0.065	0.135	B	C	低
PG-3301元弁	HMV-3307	0.065	0.135	B	C	低
PG-3301元弁圧力校正ポート元弁	HMV-3308	0.065	0.135	B	C	低
GHe受入フィルタ	HFL-3301	0.004	0.028	C	C	低
GHeカードル元弁	PX-3301	0.047	0.208	B	C	低
GHeカードル圧力計	PG-3301	0.047	0.226	B	C	低
GHe圧縮機吸入元弁	HMV-3304	0.020	0.306	C	A	中
PG-3302元弁	HMV-3309	0.065	0.135	B	B	中
PG-3302圧力校正ポート元弁	HMV-3310	0.065	0.135	B	B	中
RV-3301元弁	MV-3311	0.004	0.079	C	B	低
PG-3303元弁	MV-3312	0.020	0.135	C	B	低
PG-3303圧力校正ポート元弁	MV-3313	0.020	0.135	C	B	低
RV-3302元弁	MV-3314	0.004	0.079	C	B	低
PG-3304元弁	MV-3315	0.020	0.135	C	B	低
PG-3304圧力校正ポート元弁	MV-3316	0.020	0.135	C	B	低
GHe圧縮機吸入減圧弁1	HPR-3301D	0.065	0.135	B	A	高
HPR-3301用設定減圧弁	HPR-3301H	0.065	0.135	B	B	中
GHe圧縮機吸入減圧弁2	PR-3302D	0.020	0.135	C	A	中
PR-3302用設定減圧弁	PR-3302H	0.020	0.135	C	B	低
吸入ライン安全弁1	RV-3301	0.020	0.291	C	A	中
吸入ライン安全弁2	RV-3302	0.020	0.291	C	A	中
吸入フィルタ	HFL-3302	0.020	0.130	C	A	中
GHe圧縮機吸入圧力計1	PG-3302	0.010	0.097	C	B	低
GHe圧縮機吸入圧力計2	PG-3303	0.001	0.218	C	B	低
GHe圧縮機吸入圧力計3	PG-3304	0.020	0.253	C	B	低
GHe圧縮機吸入圧	PX-3304	0.020	0.208	C	A	中
GHe圧縮機吐出止弁1	HMV-3320	0.054	0.183	B	B	中
GHe圧縮機吐出止弁2	HMV-3321	0.008	0.079	C	B	低
バイパス充填弁	HMV-3322	0.122	0.135	B	A	高
PX-3334元弁	HMV-3334	0.008	0.079	C	C	低
PX-3335元弁	HMV-3335	0.122	0.135	B	C	低
HRV-3320元弁	HMV-3336	0.008	0.079	C	C	低
HRV-3321元弁	HMV-3337	0.008	0.079	C	C	低
GHe圧縮機と出ラインベント弁1	HMV-3338	0.122	0.135	B	C	低
GHe圧縮機と出ラインベント弁2	HMV-3339	0.008	0.079	C	C	低
吐出ライン安全弁1	HRV-3320	0.200	0.731	A	B	高
吐出ライン安全弁2	HRV-3321	0.162	0.225	A	B	高
バイパス充填逆止弁	HCV-3320	0.122	0.143	B	A	高
C-3004吐出圧	PX-3334	0.122	0.208	B	B	中
C-3005吐出圧	PX-3335	0.122	0.208	B	B	中
C-3004吐出温度	TX-3303	0.122	0.364	B	B	中
C-3005吐出温度	TX-3304	0.122	0.364	B	B	中
気蓄器充填系GHe回収元弁	HMV-3420	0.008	0.135	C	B	低
共通切換系GHe回収元弁	HMV-3421	0.122	0.135	B	B	中
一般バース系GHe回収元弁	HMV-3422	0.122	0.079	B	A	高
GHe回収弁	HMV-3423	0.001	0.135	C	A	中
PG-3333元弁	HMV-3424	0.122	0.135	B	C	低
PG-3333ベント弁	HMV-3425	0.122	0.051	B	C	低
PG-3334元弁	HMV-3426	0.122	0.135	B	C	低
PG-3334圧力校正ポート元弁	HMV-3427	0.122	0.135	B	C	低
HRV-3330元弁	HMV-3428	0.122	0.135	B	B	中
GHe回収圧減圧弁	HPR-3304D	0.008	0.079	C	B	低
HPR-3304用設定減圧弁	HPR-3304H	0.001	0.051	C	B	低
GHe回収ライン安全弁	HRV-3330	0.122	0.291	B	B	中
GHe回収元圧力計	PG-3333	0.074	0.097	B	C	低
GHe回収圧力計	PG-3334	0.122	0.226	B	C	低
TK-3004元弁	HMV-3326	0.009	0.093	C	A	中
HRV-3322元弁	HMV-3342	0.122	0.135	B	C	低
PG-3321元弁	HMV-3349	0.122	0.135	B	C	低
TK-3004ベント弁	HMV-3350	0.122	0.135	B	C	低
TK-3004安全弁	HRV-3322	0.028	0.048	C	C	低
TK-3004圧力計	PG-3321	0.099	0.226	B	C	低
TK-3005元弁	HMV-3327	0.030	0.113	B	A	高
HRV-3323元弁	HMV-3343	0.008	0.079	C	C	低
PG-3322元弁	HMV-3351	0.024	0.104	C	C	低
TK-3005ベント弁	HMV-3352	0.122	0.135	B	C	低
TK-3005安全弁	HRV-3323	0.009	0.038	C	C	低
TK-3005圧力計	PG-3322	0.074	0.097	B	C	低
TK-3006元弁	HMV-3328	0.122	0.135	B	C	低
HRV-3324元弁	HMV-3344	0.122	0.135	B	C	低
PG-3324元弁	HMV-3357	0.122	0.135	B	C	低
TK-3006ベント弁	HMV-3358	0.122	0.135	B	C	低

要素	TAG No.	2008年故障率	先行研究による 2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
TK-3006安全弁	HRV-3324	0.122	0.291	B	C	低
TK-3006圧力計	PG-3324	0.074	0.097	B	C	低
TK-3007元弁	HMV-3329	0.122	0.135	B	C	低
HRV-3325元弁	HMV-3345	0.023	0.118	C	C	低
PG-3325元弁	HMV-3359	0.054	0.183	B	C	低
TK-3007ベント弁	HMV-3360	0.122	0.135	B	C	低
TK-3007安全弁	HRV-3325	0.130	0.212	B	C	低
TK-3007圧力計	PG-3325	0.074	0.097	B	C	低
TK-3008元弁	HMV-3330	0.122	0.135	B	B	中
HRV-3326元弁	HMV-3346	0.122	0.135	B	C	低
PG-3326元弁	HMV-3361	0.001	0.051	C	C	低
TK-3008ベント弁	HMV-3362	0.122	0.135	B	C	低
TK-3008安全弁	HRV-3326	0.074	0.170	B	C	低
TK-3008圧力計	PG-3326	0.074	0.097	B	C	低
TK-3009元弁	HMV-3331	0.054	0.183	B	B	中
HRV-3327元弁	HMV-3347	0.030	0.113	B	C	低
PG-3327元弁	HMV-3363	0.054	0.183	B	C	低
TK-3009ベント弁	HMV-3364	0.001	0.051	C	C	低
TK-3009安全弁	HRV-3327	0.122	0.291	B	C	低
TK-3009圧力計	PG-3327	0.074	0.097	B	C	低
TK-3010元弁	HMV-3332	0.122	0.135	B	B	中
HRV-3328元弁	HMV-3348	0.030	0.113	C	C	低
PG-3328元弁	HMV-3365	0.122	0.135	B	C	中
TK-3010ベント弁	HMV-3366	0.063	0.168	B	C	低
TK-3010安全弁	HRV-3328	0.122	0.915	B	C	低
TK-3010圧力計	PG-3328	0.074	0.097	B	C	低
TK-3011元弁	HMV-3429	0.054	0.183	B	B	中
HRV-3331元弁	HMV-3430	0.009	0.093	C	C	低
PG-3335元弁	HMV-3431	0.023	0.118	C	C	低
TK-3011ベント弁	HMV-3432	0.023	0.118	C	C	低
TK-3011安全弁	HRV-3331	0.009	0.038	C	C	低
TK-3011圧力計	PG-3335	0.074	0.097	B	C	低
GHe移充填装置元弁	HMV-3370	0.025	0.104	C	C	低
GHe移充填弁1	HMV-3371	0.010	0.118	C	C	低
GHe移充填弁2	HMV-3372	0.065	0.135	B	C	低
PG-3331元弁	HMV-3373	0.023	0.118	C	C	低
PG-3332元弁	HMV-3374	0.025	0.183	C	C	低
PG-3332圧力校正ポート元弁	HMV-3375	0.065	0.135	B	C	低
HRV-3329元弁	HMV-3376	0.065	0.135	B	C	低
41.2MPa GHe移充填ライン元弁	HMV-3433	0.122	0.135	B	C	低
41.2Mpa GHe移充填弁	HMV-3434	0.023	0.118	C	C	低
GHe移充填装置安全弁	HRV-3329	0.100	0.520	B	C	低
GHe移充填装置減圧弁	HPR-3303D	0.054	0.183	B	C	低
HPR-3303D設定減圧弁	HPR-3303H	0.122	0.135	B	C	低
GHe移充填元圧力計	PG-3331	0.074	0.097	B	C	低
GHe移充填圧力計	PG-3332	0.047	0.226	B	C	低
GHe移充填装置フィルタ	HFL-3324	0.065	0.130	B	C	低
GHe移充填ライン	HFL-3325	0.122	0.130	B	C	低
一般バージ系GHe貯気槽充填弁	HMV-3323	0.063	0.168	B	A	高
共通切換系GHe貯気槽充填弁	HMV-3324	0.122	0.135	B	A	高
気蓄器充填系GHe貯気槽充填弁	HMV-3325	0.056	0.126	B	A	高
PG-3320元弁	HMV-3340	0.008	0.079	C	B	低
PG-3320圧力校正ポート元弁	HMV-3341	0.023	0.118	C	B	中
GHe貯気槽充填圧力計	PG-3320	0.023	0.088	C	B	低
GHe貯気槽充填フィルタ	HFL-3320	0.122	0.307	B	A	高
TS-VAB系420K GHe供給弁	HMV-3333	0.122	0.135	B	A	高
PG-3323元弁	HMV-3353	0.025	0.104	C	B	低
TS-VAB系420K GHe供給弁ハ	HMV-3354	0.080	0.157	B	B	中
PG-3329元弁	HMV-3367	0.030	0.113	C	C	低
PG-3330元弁	HMV-3368	0.030	0.113	C	C	低
一般バージ系420KGHe供給弁1	HNV-3320	0.122	0.135	B	A	高
一般バージ系420KGHe供給弁2	HNV-3321	0.122	0.135	B	A	高
気蓄器充填系420KGHe供給弁1	HNV-3322	0.008	0.079	C	A	中
気蓄器充填系420KGHe供給弁2	HNV-3323	0.023	0.118	C	A	中
一般バージ系420KGHe供給弁1	HNV-3324	0.009	0.093	C	A	中
一般バージ系420KGHe供給弁2	HNV-3325	0.122	0.135	B	A	高
気蓄器充填系420KGHe供給弁1	HNV-3326	0.163	0.280	A	B	高
気蓄器充填系420KGHe供給弁2	HNV-3327	0.008	0.079	C	B	低
一般バージ系GHe圧力計	PG-3323	0.074	0.097	B	B	中
共通切替用GHe圧力計	PG-3329	0.074	0.097	B	C	低
気蓄器充填系GHe圧力計	PG-3330	0.122	0.226	B	C	低
一般バージ系GHe圧力発信器	PX-3323	0.074	0.208	B	A	高
共通切替用GHe圧力発信器	PX-3329	0.074	0.208	B	B	中
気蓄器充填系GHe圧力発信器	PX-3330	0.122	0.208	B	B	中
一般バージ系420KGHe供給逆止	HCV-3321	0.122	0.143	B	A	高
気蓄器充填系420KGHe供給逆止	HCV-3322	0.122	0.143	B	A	高
TS-VAB系420K GHe供給ライン	HMV-3355	0.122	0.135	B	A	高
一般バージ系420K GHe供給ライン	HMV-3356	0.122	0.135	B	A	高
気蓄器充填系420K GHe供給ライン	HMV-3369	0.122	0.135	B	A	高

要素	TAG No.	2008年故障率	先行研究による 2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
気蓄器充填系420K Ghe供給ライン	HMV-3369	0.122	0.135	B	A	高
TS-VAB系420K Ghe供給フィル	HFL-3321	0.008	0.044	C	A	中
一般バーン系420K Ghe供給フィル	HFL-3322	0.122	0.130	B	A	高
気蓄器充填系420K Ghe供給フィル	HFL-3323	0.122	0.130	B	A	高
吸入ガス止め弁1	MV-3381	0.045	0.135	B	B	中
吸入ガスベント弁1	MV-3382	0.048	0.135	B	C	低
バイパス弁1	HMV-3383	0.054	0.183	B	C	低
PG-3337元弁	MV-3384	0.048	0.135	B	C	低
PG-3337圧力校正ポート元弁	MV-3385	0.048	0.135	B	C	低
PS-3301元弁	MV-3386	0.048	0.135	B	C	低
PS-3301ベント弁	MV-3387	0.048	0.135	B	C	低
HRV-3334元弁	HMV-3388	0.065	0.135	B	C	低
PG-3338元弁	HMV-3389	0.065	0.135	B	C	低
PG-3338圧力校正ポート元弁	HMV-3390	0.065	0.135	B	C	低
RV-3338元弁	MV-3391	0.048	0.135	B	C	低
PS-3302元弁	MV-3392	0.048	0.135	B	C	低
PS-3302ベント弁	MV-3393	0.048	0.135	B	C	低
HRV-3335元弁	HMV-3394	0.122	0.135	B	C	低
2段吐出ガス元弁1	HMV-3395	0.122	0.135	B	B	中
PG-3339元弁	HMV-3396	0.122	0.135	B	C	低
PG-3339ベント弁	HMV-3397	0.122	0.135	B	C	低
2段吐出ガスベント弁1	HMV-3398	0.122	0.135	B	C	低
中間段安全弁1	HRV-3334	0.001	0.019	C	B	低
吐出ガス安全弁1	HRV-3335	0.122	0.291	B	B	中
吸入ガス安全弁1	RV-3338	0.048	0.311	B	B	中
吸入温度計1	TG-3301	0.017	0.247	C	C	低
中間段温度計1	TG-3302	0.010	0.172	C	C	低
吐出温度計1	TG-3303	0.062	0.247	B	C	低
1段吐出ガス温度センサー	TX-3311	0.010	0.247	C	B	低
2段吐出ガス温度センサー	TX-3312	0.062	0.247	B	B	中
1段吐出ガス温度スイッチ	TS-3301	0.019	0.274	C	C	低
2段吐出ガス温度スイッチ	TS-3302	0.062	0.274	B	C	低
吸入圧力計1	PG-3337	0.072	0.327	B	C	低
中間段圧力計1	PG-3338	0.088	0.223	B	C	低
吐出圧力計1	PG-3339	0.163	0.223	A	C	中
吸入ガス圧力センサー	PX-3337	0.072	0.254	B	B	中
1段吐出ガス圧力センサー	PX-3338	0.088	0.254	B	B	中
2段吐出ガス圧力センサー	PX-3339	0.163	0.254	A	B	高
低圧側ダイヤフラム破裂表示器	PS-3301	0.017	0.274	C	C	低
高圧側ダイヤフラム破裂表示器	PS-3302	0.017	0.274	C	C	低
吸入ガス圧力スイッチ	PS-3305	0.017	0.274	C	C	低
吐出ガス圧力スイッチ	PS-3306	0.017	0.274	C	C	低
吸入ガスフィルタ	FL-3301	0.017	0.274	C	B	低
一段吐出ガスフィルタ	HFL-3303	0.019	0.274	C	B	低
吐出逆止弁1	HCV-3327	0.005	0.274	C	B	低
吐出ベント逆止弁1	HCV-3328	0.005	0.274	C	B	低
オイルタンクドレン弁1	MV-9301	0.017	0.274	C	B	低
PG-9301元弁	MV-9302	0.017	0.274	C	C	低
PG-9302元弁	MV-9303	0.017	0.274	C	C	低
PG-9303元弁	MV-9304	0.017	0.274	C	C	低
PG-9303圧力校正ポート元弁	MV-9305	0.017	0.274	C	C	低
1段オイルオーバーフロー弁1	RV-9301	0.009	0.085	C	B	低
2段オイルオーバーフロー弁1	RV-9302	0.009	0.083	C	B	低
クランクケース油温度計1	TG-9301	0.048	0.274	B	C	低
1段側オイル圧力計1	PG-9301	0.072	0.274	B	C	低
2段側オイル圧力計1	PG-9302	0.011	0.274	C	C	低
潤滑油ポンプ出口圧力計	PG-9303	0.048	0.274	B	C	低
潤滑油ポンプ出口圧力スイッチ	PS-9301	0.048	0.274	B	C	低
油潤滑用レギュレータ	PR-9301	0.048	0.274	B	B	中
1段オイル温度センサー	TX-9301	0.048	0.247	B	B	中
2段オイル温度センサー	TX-9302	0.048	0.247	B	B	中
クランクケース油温度センサー	TX-9303	0.048	0.247	B	B	中
オイルラインフィルタ	FL-9301	0.048	0.274	B	B	中
1段側オイル逆止弁	CV-9301	0.048	0.274	B	B	中
2段側オイル逆止弁	CV-9302	0.048	0.274	B	B	中
油圧アンローダ用電磁弁1	SV-9301	0.048	0.274	B	B	中
オイル補償用ポンプ		0.048	0.274	B	B	中
潤滑油ポンプ		0.048	0.274	B	B	中
油ライン配管		0.048	0.274	B	B	中
冷却水ベント弁	MV-8330	0.048	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8331	0.048	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8332	0.048	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計1	MV-8333	0.048	0.274	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計2	MV-8334	0.048	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系元弁	MV-8335	0.048	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8336	0.048	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8337	0.048	0.274	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計圧力	MV-8338	0.048	0.274	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8339	0.048	0.274	B	B	中

要素	TAG No.	2008年故障率	先行研究による 2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
2段タイアフラム冷却系元弁	MV-8339	0.048	0.274	B	B	中
2段タイアフラム冷却系ベント弁	MV-8340	0.048	0.274	B	B	中
2段タイアフラム冷却系圧力計	MV-8341	0.048	0.274	B	B	中
2段タイアフラム冷却系圧力計	MV-8342	0.048	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系元弁	MV-8343	0.048	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8344	0.048	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8345	0.048	0.274	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計圧力	MV-8346	0.048	0.274	B	B	中
油ライン冷却系元弁	MV-8347	0.048	0.274	B	B	中
油ライン冷却系ベント弁	MV-8348	0.048	0.274	B	B	中
油ライン冷却系圧力計元弁	MV-8349	0.048	0.274	B	B	中
油ライン冷却系圧力計圧力校正	MV-8350	0.048	0.274	B	B	中
1段タイアフラム冷却系入口温度計	TG-8303	0.048	0.247	B	C	低
1段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8304	0.048	0.247	B	C	低
2段タイアフラム冷却系入口温度計	TG-8305	0.048	0.247	B	C	低
2段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8306	0.048	0.247	B	C	低
油ライン冷却系入口温度計	TG-8307	0.048	0.247	B	C	低
1段タイアフラム冷却系出口温度計	TG-8308	0.048	0.247	B	C	低
1段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8309	0.048	0.247	B	C	低
2段タイアフラム冷却系出口温度計	TG-8310	0.048	0.247	B	C	低
2段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8311	0.048	0.247	B	C	低
油ライン冷却系出口温度計	TG-8312	0.048	0.247	B	C	低
1段タイアフラム冷却系圧力計	PG-8303	0.048	0.274	B	C	低
1段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8304	0.048	0.274	B	C	低
2段タイアフラム冷却系圧力計	PG-8305	0.048	0.274	B	C	低
2段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8306	0.048	0.274	B	C	低
油ライン冷却系圧力計	PG-8307	0.048	0.274	B	C	低
1段タイアフラム冷却水フロースイッチ	FS-8301	0.048	0.274	B	C	低
1段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8302	0.048	0.274	B	C	低
2段タイアフラム冷却水フロースイッチ	FS-8303	0.048	0.274	B	C	低
2段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8304	0.048	0.274	B	C	低
油ライン冷却水フロースイッチ	FS-8305	0.048	0.274	B	C	低
ヘッドフランジ		0.048	0.274	B	B	中
ヘッドカバー		0.048	0.274	B	B	中
タイアフラム板		0.130	0.085	B	B	中
ハフオレート板		0.048	0.274	B	B	中
冷却水コイル		0.048	0.274	B	B	中
吸入スラストピース		0.048	0.274	B	B	中
吐出スラストピース		0.048	0.274	B	B	中
吸入段弁		0.004	0.085	C	B	低
吐出段弁		0.004	0.085	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.004	0.085	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.004	0.085	C	B	低
ヘッドフランジ		0.062	0.274	B	B	中
ヘッドカバー		0.062	0.274	B	B	中
タイアフラム板		0.003	0.085	C	B	低
ハフオレート板		0.062	0.274	B	B	中
冷却水コイル		0.062	0.274	B	B	中
吸入スラストピース		0.062	0.274	B	B	中
吐出スラストピース		0.062	0.274	B	B	中
吸入段弁		0.003	0.085	C	B	低
吐出段弁		0.003	0.085	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.003	0.085	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.003	0.085	C	B	低
1段吐出ガスクーラー		0.004	0.106	C	B	低
2段吐出ガスクーラー		0.004	0.106	C	B	低
オイルクーラー		0.062	0.274	B	B	中
吸入ガス止め弁1	MV-3399	0.017	0.267	C	B	低
吸入ガスベント弁1	MV-3400	0.017	0.135	C	C	低
バイパス弁1	HMV-3401	0.122	0.135	B	C	低
PG-3340元弁	MV-3402	0.048	0.135	B	C	低
PG-3340圧力校正ポート元弁	MV-3403	0.048	0.135	B	C	低
PS-3303元弁	MV-3404	0.048	0.135	B	C	低
PS-3303ベント弁	MV-3405	0.048	0.135	B	C	低
HRV-3336元弁	HMV-3406	0.065	0.135	B	C	低
PG-3341元弁	HMV-3407	0.065	0.135	B	C	低
PG-3341圧力校正ポート元弁	HMV-3408	0.065	0.135	B	C	低
RV-3339元弁	MV-3409	0.048	0.135	B	C	低
PS-3304元弁	MV-3410	0.048	0.135	B	C	低
PS-3304ベント弁	MV-3411	0.048	0.135	B	C	低
HRV-3337元弁	HMV-3412	0.122	0.135	B	C	低
2段吐出ガス元弁1	HMV-3413	0.122	0.135	B	B	中
PG-3342元弁	HMV-3414	0.122	0.135	B	C	低
PG-3342ベント弁	HMV-3415	0.122	0.135	B	C	低
2段吐出ガスベント弁1	HMV-3416	0.122	0.135	B	C	低
中間段安全弁1	HRV-3336	0.065	0.291	B	B	中
吐出ガス安全弁1	HRV-3337	0.122	0.291	B	B	中

要素	TAG No.	2008年故障率	先行研究による 2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
吸入ガス安全弁1	RV-3339	0.048	0.311	B	B	低
吸入温度計1	TG-3304	0.017	0.235	C	C	低
中間段温度計1	TG-3305	0.019	0.235	C	C	低
吐出温度計1	TG-3306	0.062	0.235	B	C	低
1段吐出ガス温度センサー	TX-3313	0.019	0.235	C	B	低
2段吐出ガス温度センサー	TX-3314	0.062	0.235	B	B	中
1段吐出ガス温度スイッチ	TS-3303	0.065	0.288	B	C	低
2段吐出ガス温度スイッチ	TS-3304	0.062	0.288	B	C	低
吸入圧力計1	PG-3340	0.017	0.223	C	C	低
中間段圧力計1	PG-3341	0.088	0.223	B	C	低
吐出圧力計1	PG-3342	0.096	0.223	B	C	低
吸入ガス圧力センサー	PX-3340	0.017	0.254	C	B	低
1段吐出ガス圧力センサー	PX-3341	0.088	0.254	B	B	中
2段吐出ガス圧力センサー	PX-3342	0.096	0.254	B	B	中
低圧側ダイヤフラム破裂表示器	PS-3303	0.048	0.288	B	C	低
高圧側ダイヤフラム破裂表示器	PS-3304	0.048	0.288	B	C	低
吸入ガス圧カススイッチ	PS-3307	0.048	0.288	B	C	低
吐出ガス圧カススイッチ	PS-3308	0.062	0.288	B	C	低
吸入ガスフィルタ	FL-3302	0.048	0.288	B	B	中
一段吐出ガスフィルタ	HFL-3304	0.048	0.288	B	B	中
吐出逆止弁1	HCV-3329	0.021	0.288	C	B	低
吐出ベント逆止弁1	HCV-3330	0.061	0.288	B	B	中
オイルタンクドレン弁1	MV-9306	0.048	0.288	B	B	中
PG-9304元弁	MV-9307	0.048	0.288	B	C	低
PG-9305元弁	MV-9308	0.048	0.288	B	C	低
PG-9306元弁	MV-9309	0.048	0.288	B	C	低
PG-9303圧力校正ポート元弁	MV-9310	0.048	0.288	B	C	低
1段オイルオーバーフロー弁1	RV-9303	0.013	0.156	C	B	低
2段オイルオーバーフロー弁1	RV-9304	0.032	0.167	B	B	中
クランクケース油温度計1	TG-9302	0.048	0.288	B	C	低
1段側オイル圧力計1	PG-9304	0.048	0.288	B	C	低
2段側オイル圧力計1	PG-9305	0.048	0.288	B	C	低
潤滑油ポンプ出口圧力計	PG-9306	0.048	0.288	B	C	低
潤滑油ポンプ出口圧カススイッチ	PS-9302	0.048	0.288	B	C	低
油潤滑用レギュレータ	PR-9302	0.048	0.288	B	B	中
1段オイル温度センサー	TX-9304	0.048	0.235	B	B	中
2段オイル温度センサー	TX-9305	0.048	0.235	B	B	中
クランクケース油温度センサー	TX-9306	0.048	0.235	B	B	中
オイルラインフィルタ	FL-9302	0.048	0.288	B	B	中
1段側オイル逆止弁	CV-9303	0.032	0.129	B	B	中
2段側オイル逆止弁	CV-9304	0.032	0.129	B	B	中
油圧アンローダ用電磁弁1	SV-9302	0.048	0.288	B	B	中
オイル補償用ポンプ		0.048	0.288	B	B	中
潤滑油ポンプ		0.048	0.288	B	B	中
油ライン配管		0.048	0.288	B	B	中
冷却水ベント弁	MV-8360	0.048	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8361	0.048	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8362	0.048	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計1	MV-8363	0.048	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系圧力計2	MV-8364	0.048	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系元弁	MV-8365	0.048	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8366	0.048	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8367	0.048	0.288	B	B	中
1段吐出ガス冷却系圧力計圧力	MV-8368	0.048	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系元弁	MV-8369	0.048	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系ベント弁	MV-8370	0.048	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系圧力計1	MV-8371	0.048	0.288	B	B	中
2段ダイヤフラム冷却系圧力計2	MV-8372	0.048	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系元弁	MV-8373	0.048	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系ベント弁	MV-8374	0.048	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計元弁	MV-8375	0.048	0.288	B	B	中
2段吐出ガス冷却系圧力計圧力	MV-8376	0.048	0.288	B	B	中
油ライン冷却系元弁	MV-8377	0.048	0.288	B	B	中
油ライン冷却系ベント弁	MV-8378	0.048	0.288	B	B	中
油ライン冷却系圧力計元弁	MV-8379	0.048	0.288	B	B	中
油ライン冷却系圧力計圧力校正	MV-8380	0.048	0.288	B	B	中
1段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8313	0.017	0.235	C	C	低
1段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8314	0.017	0.235	C	C	低
2段ダイヤフラム冷却系入口温度計	TG-8315	0.017	0.235	C	C	低
2段吐出ガス冷却系入口温度計	TG-8316	0.017	0.235	C	C	低
油ライン冷却系入口温度計	TG-8317	0.017	0.235	C	C	低
1段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8318	0.017	0.235	C	C	低
1段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8319	0.017	0.235	C	C	低
2段ダイヤフラム冷却系出口温度計	TG-8320	0.017	0.235	C	C	低
2段吐出ガス冷却系出口温度計	TG-8321	0.017	0.235	C	C	低
油ライン冷却系出口温度計	TG-8322	0.017	0.235	C	C	低
1段ダイヤフラム冷却系圧力計	PG-8308	0.017	0.288	C	C	低

要素	TAG No.	2008年故障率	先行研究による 2008年故障率	故障率ランク	影響度	リスクランク
1段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8309	0.017	0.288	C	C	低
2段ダイアフラム冷却系圧力計	PG-8310	0.017	0.288	C	C	低
2段吐出ガス冷却系圧力計	PG-8311	0.017	0.288	C	C	低
油ライン冷却系圧力計	PG-8312	0.017	0.288	C	C	低
1段ダイアフラム冷却水フロー	FS-8306	0.017	0.288	C	C	低
1段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8307	0.017	0.288	C	C	低
2段ダイアフラム冷却水フロー	FS-8308	0.017	0.288	C	C	低
2段吐出ガス冷却水フロースイッチ	FS-8309	0.017	0.288	C	C	低
油ライン冷却水フロースイッチ	FS-8310	0.017	0.288	C	C	低
ヘッドフランジ		0.017	0.288	C	B	低
ヘッドカバー		0.017	0.288	C	B	低
ダイアフラム板		0.003	0.129	C	B	低
ハフオレート板		0.017	0.288	C	B	低
冷却水コイル		0.017	0.288	C	B	低
吸入スラストピース		0.003	0.129	C	B	低
吐出スラストピース		0.003	0.129	C	B	低
吸入段弁		0.002	0.288	C	B	低
吐出段弁		0.002	0.288	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.002	0.288	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.002	0.288	C	B	低
ヘッドフランジ		0.062	0.288	B	B	中
ヘッドカバー		0.062	0.288	B	B	中
ダイアフラム板		0.003	0.087	C	B	低
ハフオレート板		0.062	0.288	B	B	中
冷却水コイル		0.062	0.288	B	B	中
吸入スラストピース		0.062	0.288	B	B	中
吐出スラストピース		0.062	0.288	B	B	中
吸入段弁		0.012	0.129	C	B	低
吐出段弁		0.012	0.129	C	B	低
ヘッド用スタッドボルト・ナット		0.012	0.129	C	B	低
スラストピース用スタッドボルト		0.012	0.129	C	B	低
1段吐出ガスクーラー		0.013	0.156	C	B	低
2段吐出ガスクーラー		0.013	0.156	C	B	低
オイルクーラー		0.168	0.288	A	B	高

謝辞

本研究は東京大学大学院工学系研究科 酒井信介教授のご指導のもとに進められました。酒井先生にはお忙しいなか、様々なご指導、ご鞭撻をいただき本当にありがとうございました。不真面目な私が卒業論文を提出できたのは先生のおかげです。

また、先行研究を行われた篠田治人様には質問などで貴重なお時間をとってしまうなどご迷惑をおかけしてしまいました。おかげで卒業論文を書きあげることができました。

本研究を進めるにあたって、酒井・泉研究室の皆さまには多大なるご厚意やご支援をいただき本当にありがとうございました。

以上をもって謝辞とさせていただきます。

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:日本機械学会誌, 106, 846, (2003)
- [5]篠田治人:“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”, (2009)
- [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]中根進:“下水道管さよの長寿命化に向けた具体的解析手法<第2回>”, 月刊下水道, 第 32 巻, 第 13 号
- [9]岡島智史:“小標本検査データを元にした疲労破損率評価におけるベイズ推定の利用”, (2005)

以上

P.1~P.52

平成22年2月5日提出

80233 滝川 善之