

HIMAC 維持管理の品質モニタリング

RELIABILITY MONITORING OF MAINTENANCE FOR HIMAC

福田茂一^{#,A)}, 猪口宏洋^{A)}, 奥村克己^{A)}, 小林泉^{B)}

Shigekazu Fukuda^{#,A)}, Hiromi Inokuchi^{A)}, Katsumi Okumura^{A)}, Izumi Kobayashi^{B)}

^{A)}National Institute of Radiological Sciences

^{B)} Accelerator Engineering Corporation

Abstract

A lot of knowledge and experience is accumulated by many years of operation and maintenance of Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba (HIMAC). The preventive maintenance has been performed to obviate the risk of the breakdown while operating HIMAC, which includes component replacement and check recommended by each manufacturer. However, the way a manufacturer recommends assumes the general environment, and it is often observed to be different in the life expectancy of the part and a breakdown depending on conditions for use such as vibration, temperature and operating hour. The experience (experiential value) obtained from actual environment is also becoming important to maintain appropriately. Therefore, it is important to implement the PDCA (Plan - Do - Check - Action) cycle where the cause is investigated by collecting the information of defect events occurring in operation and check and the information is analyzed, if needed, the countermeasure is taken. We defined the quality indicators (operating rate, defect occurrence rate and human error) to apply the maintenance of HIMAC, which is generally called as Reliability Monitoring method. The quality indicator in the reliability monitoring leads to “visualization” of the quality of maintenance quantitatively and is an indispensable tool to monitor it with a long-term trend. The final goal is the realization of more efficient and economical maintenance through this activity.

1. はじめに

医療用重粒子加速器 HIMAC は、長年にわたる運転や整備により知識や経験などを蓄積してきている。HIMAC の整備に関しても、各々の製造会社(メーカー)の推奨による部品の交換、経験などをもとにした点検など、運転中の故障など不具合の発生を未然に防ぐために万全の予防整備が実施されている。しかしメーカーの推奨する方法は一般的な環境を想定しており、振動・温度や運転時間などの使用条件により部品の寿命や故障などは大きく異なるのも事実であり、適切な整備を実施するためには経験による実績(経験値)も重要となってくる。

従って、運転や点検において発生する不具合の情報を収集して、情報を分析することで不具合の原因を究明、必要なら対策を講じるなどの PDCA(Plan-Do-Check-Action)サイクルを進めることが大切である。一般的には信頼性管理(Reliability Monitoring)と称される方式を、HIMAC の整備に適用するために品質指標を設定した。

信頼性管理において品質指標は、整備の品質を定量的に「見える化」するもので、長期的なトレンドでモニターを行うために必須のツールであり、結果として効率的且つ経済的な整備を行うことを目的としている。

品質指標について、設定の基本的な考え方、定義や具体的な品質モニタリングについて説明する。

2. 不具合とそのモニター

HIMAC が安定して粒子線を提供するために整備としての役割は、運転中に発生する不具合を最小限にすること、ならびに、運転中に故障などの不具合が発生した場合に可能な限り早急に復旧させること、にあるといえる。HIMAC で起きる不具合について分類すると、第一は運転中に発生する不具合、第二は点検時に発見される不具合、に大別することができる(図1)。



Figure 1: Classification of defect occurrence.

第一の運転中に発生する不具合は、HIMAC の運転に伴い構成機器および部品の劣化や摩耗などによる故障が考えられる。第二の点検時に発見される不具合は、点検により事前に不具合を発見し予防処置を実施するもので、偶発的な不具合を発生させないために行う整備である。

[#]sfukuda@nirs.go.jp

上記の不具合に対して、どのような指標でモニターすることで HIMAC の整備品質を把握することができるか検討を行った。

第一の偶発的な不具合は、装置や機器の使用時間に影響されるので発生率でモニターすることとした。また、偶発的な不具合の中でも、粒子線の供給を中断するような影響の大きい不具合については早期に復旧させることが重要であることから、ダウンタイム(修理時間)も含めて稼働率をモニターすることとした。

第二の点検時に発見する不具合については、点検の効果を評価するために予め特定した機器をモニターする。また運転および点検を問わず共通する不具合として考えられる、操作ミスや作業ミスなどについてはヒューマンエラーとしてモニターを実施する。

3. 指標の概要

上記第 2 項で述べた各々の指標について、具体的な定義を紹介する。

3.1 不具合の発生率

不具合の発生率は次式にて算出する。

$$\begin{aligned} & \text{100時間当たり機器不具合発生率} \\ & = \frac{\text{不具合件数}}{\text{運転時間}} \times 100 \end{aligned}$$

1 週間に平均してどの程度の不具合が発生するかを目安に、100 運転時間あたりに発生する機器の不具合発生率をモニターする。

また HIMAC 装置の部分、部分に応じて機能が異なるために、入射器、加速器、照射サポートおよび実験サポートの 4 区分し、区分の単位で構成機器の不具合発生を算出する。

3.2 稼働率

稼働率は次式にて算出する。

$$\text{稼働率} = \frac{\text{平均故障間隔}}{\text{平均故障間隔} + \text{平均修理時間}}$$

ここで、平均故障間隔、平均修理時間はそれぞれ次のように定義される。

$$\text{平均故障間隔} = \frac{\text{運転時間}}{\text{重大不具合件数}}$$

$$\text{平均修理時間} = \frac{\text{修理時間}}{\text{重大不具合件数}}$$

区分は粒子線を供給する入射器・加速器、ならびに粒子線を活用するユーザーとして照射および実験サポートの 3 区分としてモニターすることとした。

3.3 ヒューマンエラー

ヒューマンエラーについては、1 つの重大事故の背後には 29 の軽微な事故があり、その背景には 300 のヒヤリ・ハットが存在するというハインリッヒの法則を適用した。

図 2 にヒューマンエラーの定義を示す。

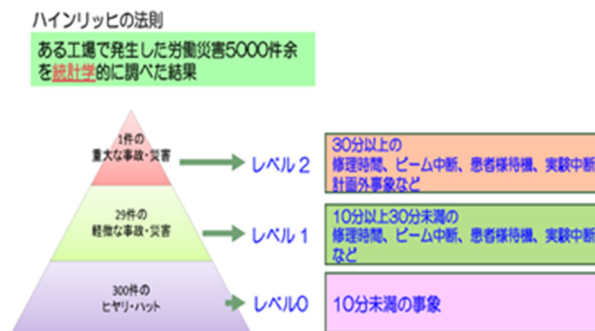


Figure 2: Definition and classification of human error.

ヒューマンエラーに起因する不具合について、影響が大きく早急に対策が必要なヒューマンエラーをレベル 2、レベル 2 と比較的に影響は小さいが対策を必要とするヒューマンエラーをレベル 1、また影響のすくないヒヤリ・ハットしたヒューマンエラーをレベル 0 としてモニターする。

- レベル 2 のヒューマンエラー
エラーの影響として 30 分以上の、① 粒子線供給を中断した場合、② 治療や実験を中断した場合、③ 患者様待機が生じた場合、並びに修理費用が 30 万円以上の場合、計画外事象に該当した場合、および品質保証部門の長が認めた場合などを対象とする。
- レベル 1 のヒューマンエラー
レベル 2 のヒューマンエラーと同様であるが、影響が 10 分以上 30 分未満の事象を対象とする。
- レベル 0 のヒューマンエラー
影響が 10 分未満のヒヤリ・ハットを対象とする。

4 品質モニタリング

運転中に発生する機器の不具合などを機器不具合発生率、稼働率、ヒューマンエラーの指標を用いてモニタリングを行うことで、HIMAC の整備品質の状態を把握する。

品質モニタリングの概要を図 3 に示す。

各々の指標は、月毎に集計することとして、容易に状態の変化を把握するために指標のトレンドをモニターする(図 4)。

また、QC(Quality Control)手法を用いた傾向分析を実施する。例えば、稼働率が急速に低下するなどの状態の変化に対しては、更に原因究明の分析を実施する。

データ解析の結果で特定の機器に摩耗などの原因

が判明すると、当該摩耗箇所を定期的に点検するなど対策を検討する。点検周期や方法などは得られた統計データにより論理的に求める。

点検の結果についても、不具合件数など傾向をモニターする(図5)。例えば、半年毎に摩耗の状態を確認していても特別に不具合が見られない場合、過去のデータを統計的な分析を行い、点検間隔を1年毎に延期するなどの改善を進める。一般的に信頼性管理と呼ばれる手法でPDCAのサイクルを進めることで、適切で、効率的な整備を目指すものである。

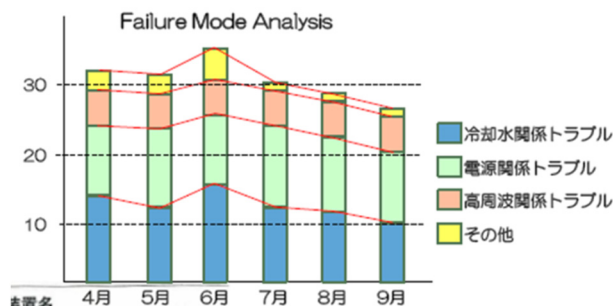


Figure 5: Analysis of failure mode.

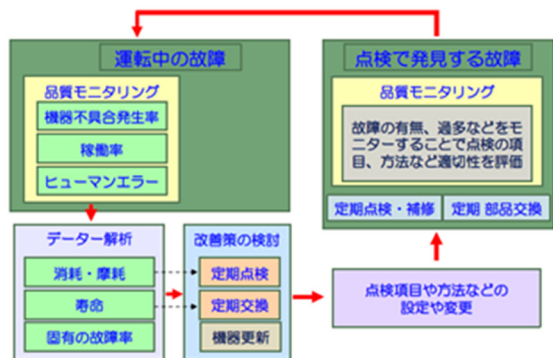


Figure 3: Reliability monitoring.

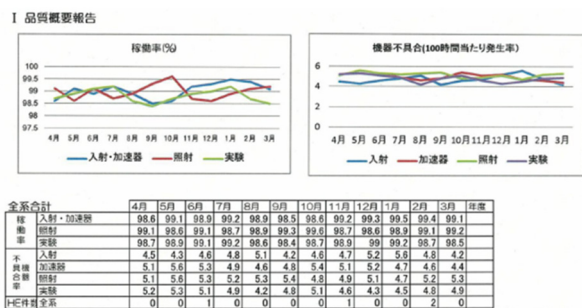


Figure 4: Trends of quality indicators.

4 まとめ

信頼性管理の手法は航空機の整備などに広く採用されているが、HIMAC についても運転の状態を指標により把握することで、使用環境などによる故障の改善が進み信頼性や安全性が向上すると共に、オーバーホール(完全分解)などを主体とした予防整備に比較してコストを削減できるなどの経済効果も期待できる。