

# 論理プログラミング言語 Prolog を用いた定検工事实施計画の自動作成による保全最適化の検討

A Study on Maintenance Optimization by the Automatic Planning Tool for Regular Plant Outage Work in Nuclear Power Plant Using the Logic Programming Language “Prolog”

株式会社 IIU	児玉 典子	Noriko KODAMA	Member
株式会社 IIU	高瀬 健太郎	Kentaro TAKASE	Member
東北大学流体科学研究所	青木 孝行	Takayuki AOKI	Member
株式会社 IIU	宮 健三	Kenzo MIYA	Member

This paper discusses maintenance optimization by the automatic planning tool for regular plant outage work in nuclear power plant using the logic programming language “Prolog”. As a result of consideration, the following results were obtained.

- (1) The automatic planning tool for regular plant outage in nuclear power plant was developed.
- (2) Using this tool, the work plan for BWR primary recirculation system and residual heat removal system was automatically made on the condition of flattening man loading over the plant outage schedule as much as possible.
- (3) Several points for improving the developed tool were listed.

Keywords: Maintenance Optimization, Plant Outage Work Planning, Logic Programming Language, Prolog

## 1. 緒言

原子力発電所の定期検査時に行われる保全作業は、非常に多くの機器を対象としているため、多数の作業員が動員され、作業現場は非常に錯綜した状況となる。また、原子炉の安全性や電源の確保、物理的な条件など、作業計画を立てる上で考慮すべき制約条件がさまざま存在する。このように、定期検査時の工事計画は膨大かつ複雑な情報を取り扱うため、これまで専門家の長い経験と勘に基づいて立案されてきた。工事計画は出来るだけ無理のない、効率的な計画になるように配慮され、工夫により最適化が進んできているが、その計画にさらなる最適化の余地が無いか確認することは難しい。

このような実情を踏まえ、我々は論理プログラミング言語 Prolog を用いた定検工事实施計画の最適化ツールの開発に取り組んでいる。本報告では、この最適化ツールの特徴および、自動作成結果について紹介する。

## 2. 定検工事实施計画の自動作成

定検工事实施計画を作成するためには、検査・工事対象となる機器の選定と作業内容、検査・工事を担当する作業チームの確保、作業を安全に進めるための制約条件の把握、規制当局等による立会検査日の設定など、さまざまな情報を総合的に検討する必要がある。

連絡先: 児玉典子  
〒110-0008 東京都台東区池之端 2-7-17  
株式会社 IIU  
電話: 03-5814-5350、E-mail: kodama@iiu.co.jp

定検工事实施計画の最適化ツールは、このような多くの情報を基に、人間の思考と同じ検討過程を経た最適と考えられるスケジュールの自動作成を目指している。

### 2.1 論理プログラミング言語 Prolog

Prolog は非手続き型プログラミング言語の一つであり、論理型言語に分類される。1972 年ごろにフランスのアラン・カルメラウアーとフィリップ・ルーセルにより考案された。Prolog はトップダウン式の問題解決と相性が良いため、人工知能研究やエキスパートシステムの開発のための主要言語として広く採用されていた<sup>[1]</sup>。本ツールでは、Prolog が制約条件などの判断式を通常使用している言語に似た形で簡便に追加できる特色があり、計画作成の手順を構築していく過程で非常に扱いやすいため、採用することとした。

### 2.2 プログラムの概要

定検工事实施計画の自動作成ツールは、データベース、インターフェース、そして工程作成プログラムから構成されている。作業対象となる機器の情報など基本情報はデータベースに収められており、その情報を基に工程作成を行う流れになっている。工程作成フローを Fig.1 に示す。定検時にクリティカルパスとなる作業はあらかじめ入力する形になっており、自動作成ツールによる工程作成対象は、系統に対する作業、およびサブクリティカル以下に属する作業の最適化である。

基本的にスケジューリング問題は、定められた期間という枠内に対して、作業というブロックを積んでいく積木問題として捉えることができる。今回の定検工事実施計画自動作成ツールも、クリティカルパス内という枠に対して、複数の作業を最適に積んでいく積木問題として捉えている。ブロックに対応する『作業』は、作業日数と作業員数によりさまざまな大きさを持つ。枠自体は制約条件によっても大きさが変わってくるため、ブロックを与えられた条件下でどのように積むかが重要になる。この積み方をいろいろな考えの下に規定するために、ツールでは作業や作業の積み方ルールに対する重要度を外部から操作できる形になっている。

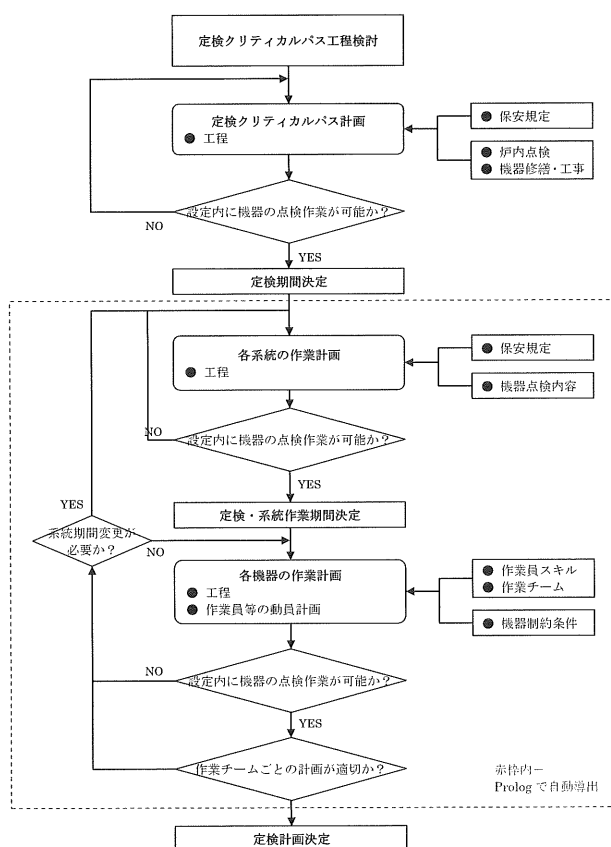


Fig.1 定検工事実施計画の自動作成フロー

### 2.3 工程の最適化

一般にプラントシステムの保全最適化とは、システム全体の安全性と経済性をそれぞれ最大化しつつ、両者をバランスさせることであるが、ここでは決定された保全計画に従って実施する定検工事計画の最適化がテーマであるので、経済性について最適化することを検討対象とする。

定検工事の経済性は下記によって決まると考えられる。

- ・ 工事工程
- ・ 作業員数
- ・ 調達資機材

これらの要素で決まる定検工事計画は下記の条件を満足していることが望ましい。

- ・ プラントの全体工程に亘って作業員数の平準化が為されていること
- ・ 動員する作業員数が最少化されていること

工程最適化に求めることすべてが一緒に成り立つことは難しい。そのため、条件ごとに工程を作成し、簡単に比較することが出来れば、工程作成に資することができると考えられる。現在、定検工事実施計画自動作成ツールでは、Table 1 に示したパラメータを重要度として変更できるようにしている。また、定検期間自体を変更することにより、作業日数ごとの工程の変化を見ることができる。

Table 1 最適化パラメータ

①	作業チームごとの動員数の最少化
②	プラントの全体工程に亘る作業員数の平準化
③	作業エリアごとの作業員数の最少化
④	作業日数の最少化(定検日数変化による影響)

## 3. 自動作成結果

### 3.1 作成対象および最適化条件

現在、再循環系および残留熱除去系に属する機器を対象に定検工事実施計画自動作成ツールの検証を行っている。工程作成対象とした機器および作業内容はTable 2のとおりである。

Table 2 工程自動作成の対象機器

系統	作業対象機器	作業内容
RHR(A・B系) PLR(A・B系)	ポンプ	分解/簡易/性能試験
	電動機	分解/性能試験
	弁	分解/簡易/漏えい試験/性能試験
	計装	特性試験
	熱交換器	開放
	発電機	分解/外観/性能試験
	配管など	UT/PT/VT

通常定検における通常作業を前提としており、定検の設定期間を2カ月半、作業対象は96機器114作業とした。

再循環系および残留熱除去系については、プラント停止中であっても原子炉施設保安規定によって各種の安全確保上の制約が課されている。また、定検中は保安規定以外の制約も保全作業に課されていることがある。これらについては、制約条件としてプログラム中に組み込み、自動的に制約条件を満足する定検工事実施計画が立案されるようになっている。

また、最適化の条件としては、プラントの全体工程に亘って作業員数が平準化されることを最も重要な要素とし、作業員数が大きいほど作業日程を優先して確保するようにパラメータを設定した。

### 3.2 工程作成結果

3.1 に示した条件を基に作成した工程による作業員増減を Fig.2 に示す。残留熱除去系は A 系と B 系に対して同時に作業が出来ないため、それぞれの隔離期間内での作業量に応じて作業員数の増減が見られるが、再循環系を含めて全体的に人数の増減が少なくなっている。Fig.3 は、自動作成した工程に対して最低限必要な作業チームと、作業期間を示したものである。このようにパラメータの設定によって目的に沿って最適化された工程を得ることができた。

今後、現実の定検工事に沿った工程の自動作成に向けて、以下のような課題が挙げられる。

- ・取扱データの細分化。実際の作業は、手入れや検査など機器に直接関わるものから、作業準備や片づけのように間接的なものまで多岐に渡っており、現実に近付けるためにデータの単位を詳細にすることが必要である。
- ・作業に関する制約条件の追加。実際の作業では物理的な条件や放射線管理等によって、作業できる期間が限られており、考慮が必要である。
- ・工程最適化に関するパラメータの検証。パラメータの組み合わせにより、どのように工程が変化するか検証し、重視すべき条件を明確化する。
- ・工程作成に大きく関わる要素が他にも存在しないか、実際に作成されている工程の検証を行う。

### 4. 結言

- 1) 最適な定検工事实施計画の自動作成に向けてツールの開発を行っている。
- 2) 再循環系および残留熱除去系の機器を基に、通常の定検期間における作業工程の自動作成を試みた。
- 3) 全体人数の平準化を重視したパラメータ設定の上で自動作成した結果、目的に沿った作業日程が得られた。
- 4) 現実の定検工事に沿った工程の自動作成に向けた今後の課題を検討した。

### 参考文献

[1] <http://ja.wikipedia.org/wiki/Prolog>

(平成 22 年 6 月 11 日)

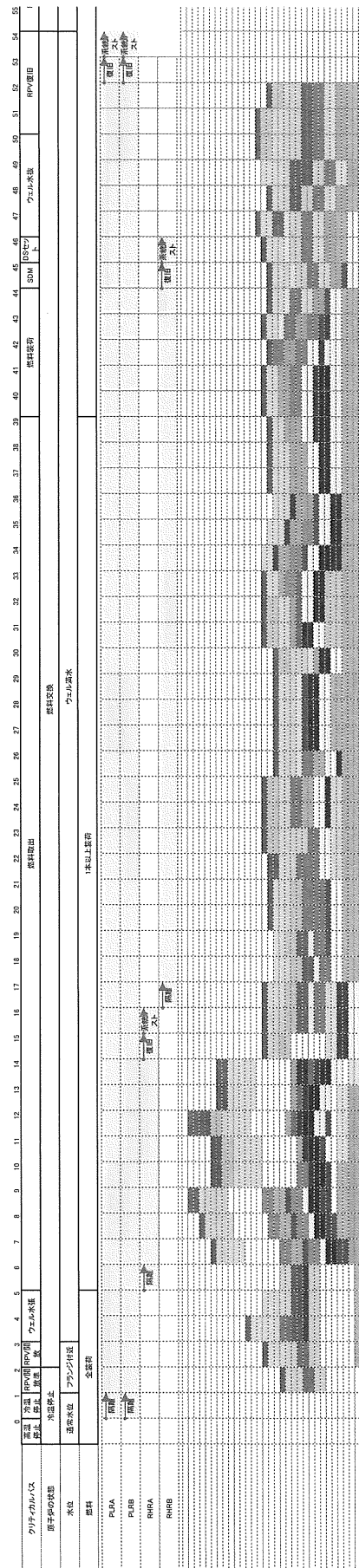


Fig.2 自動作成した工程での作業員増減

