

低除染ペレット燃料製造施設構成の合理化に関する調査
別冊 - 低除染燃料製造システムの量産化に関する評価手法の調査 -
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)
(調査報告)

2005年2月

三菱マテリアル株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 4 9
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122
ファックス：029-282-7980
電子メール：Jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

2005年2月

低除染ペレット燃料製造施設構成の合理化に関する調査
別冊 - 低除染燃料製造システムの量産化に関する評価手法の調査 -
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)
(調査報告)

前川 一彦*、吉村 忠宏*、星野 康史*、宗片 英樹*、田巻 喜久*

要 旨

FBR サイクル実用化戦略調査研究では、候補となる FBR サイクルシステムについて安全性、経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、運転・保守補修性などの観点から総合的なシステム検討と特性評価を行っている。その一環として、簡素化ペレット法を適用した低除染ペレット燃料製造施設構成の合理化に関する調査を行うとともに、プラント稼働率と廃棄物発生量に着目した燃料製造システム間の比較評価手法に関する研究を行った。

昨年度までに、機器や構成部品の故障頻度、定期交換を入力することで、プラント稼働率と廃棄物発生量の計算を行う特性評価シミュレータを開発し、この応用による燃料製造システム間の特性比較を実施した。この結果、稼働率に代表されるシステム安定性と廃棄物発生量に代表される環境負荷低減性について、各燃料製造システムの特徴を示し、同時にシステム特性評価上の課題を明らかにした。

今年度は、特性評価シミュレータに関して、キャンペーン運転やバッチ処理装置に対応するためのプログラムの改良を行い、より施設設計の成果を正確に反映し定量性の良い計算が可能となるようにした。また、昨年度明らかにした特性評価上の課題を受け、システム特性データに一定の取得基準を設け燃料製造システム設計を行い、システム間の比較を前提としたデータベースを作成した。

特性評価シミュレータにより、ペレットシステムとゲル化振動充填システムの比較を行った結果、ペレットシステムのプラント稼働率の方が安定しておりシステム安定性が高い可能性が示された。また、廃棄物発生量は明らかにゲル化振動充填システムの方が多くなり、環境負荷低減性についてもペレットシステムが優れる結果となった。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当部課室：大洗工学センター システム技術開発部 燃料製造システムグループ

*：三菱マテリアル株式会社

February 2005

Investigation into rationalization of low DF pellet fuel fabrication plant configuration
Additional Vol. - Study on characteristics evaluation of low DF fuel fabrication systems -
(Document prepared by other organization, based on the contract / Survey document)

Kazuhiko Maekawa*, Tadahiro Yoshimura*, Yasushi Hoshino*,
Hideki Munekata*, Yoshihisa Tamaki*

Abstract

In feasibility studies on commercialized FBR cycle system, a comprehensive system investigation and properties evaluation for candidate FBR cycle systems has been implemented through view point of safety, economics, environmental burden reduction, non-proliferation resistivity, etc. As part of these studies, an investigation into rationalization of low decontamination pellet fuel fabrication plant configuration, and a study on characteristics evaluation techniques which focused on plant operating rate and waste generation was conducted.

Until last fiscal year, a characteristics evaluation simulator which calculates plant operating rate and waste generation by input failure frequency data and periodic replacement data of every equipment or component was developed, and characteristics comparison between multiple fuel fabrication systems was done by applying it. Character of each fuel fabrication system, concerning system stability represented by operating rate and environmental burden reduction represented by waste generation, was shown and challenges in characteristics evaluation were made clear.

In this fiscal year, programs of the simulator were modified to reflect plant designs correctly by describing campaign operation and batch treatment in the plant in order to make more quantitative calculation possible. On the other hand, in response to the challenges in the characteristics evaluation of last fiscal year, the system properties data based on a certain standard were acquired in conceptual design study and databases were created with view of inter-system comparison.

As the results of comparison between pellet system and sphere-pac system using simulator, it was suggested that system stability of pellet system is higher than sphere-pac system, and pellet system is also better in environmental burden reduction, because waste generation of sphere-pac system is apparently larger than pellet system.

Work performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC liaison : Fuel Fabrication System Group, System Engineering Technology
Division, O-arai Engineering Center

* : Mitsubishi Materials Corporation

目 次

1 . はじめに	1
2 . シミュレータの改良と検証	2
2 . 1 キャンペーン運転への対応	2
2 . 2 バッチ処理への対応	11
2 . 3 機器停止範囲の選択	17
2 . 4 物流経時的検討への対応	25
3 . システム特性データベースの整備	27
3 . 1 データベース作成基準	27
3 . 2 各燃料製造システムのデータベース作成	27
4 . システム特性評価	236
4 . 1 ペレットシステムへの適用	236
4 . 2 同一セル内機器全停止の影響調査	240
4 . 3 バッファ容量の最適化調査	243
4 . 4 平均修復時間 (MTTR) の影響調査	247
4 . 5 ゲル化振動充填システムへの適用	250
4 . 6 システム特性の比較検討	261
4 . 7 システム特性評価上の課題	267
5 . おわりに	268
6 . 参考文献	269

図目次

図 2.1-1	キャンペーン運転モデルの概念 (1/2)	5
図 2.1-1	キャンペーン運転モデルの概念 (2/2)	6
図 2.1-2	キャンペーン運転検証用モデル	7
図 2.1-3	キャンペーン運転モデル説明図	8
図 2.2-1	バッチ処理システムの機能	11
図 2.2-2	バッチ装置の処理概念図	12
図 2.2-3	バッチ処理システムの物流グラフ	13
図 2.2-4	バッチ処理ブロック単体フロー	14
図 2.2-5	バッチ処理のブロックフロー	15
図 2.3-1	セル内全停止システム接続例	17
図 2.3-2	セル内全停止システムの予測稼働率	18
図 2.3-3	処理ブロック単体フロー	19
図 2.3-4	処理ブロック 4 並列接続のフロー	20
図 2.3-5	セル内全停止システム(並列接続)	21
図 2.3-6	セル内全停止システム(直列接続)	22
図 2.3-7	セル内全停止フロー	23
図 2.4-1	ブロックフロー中における多軸スコープの使い方	25
図 2.4-2	多軸スコープの表示例	26
図 4.1-1	ペレットシステムシミュレータフロー図 (50t、IC,OC,AB)	237
図 4.1-2	ペレットシステムシミュレータフロー図 (200t、IC,OC,AB)	238
図 4.1-3	ペレットシステムシミュレータフロー図 (200t、RB)	239
図 4.1-4	標準偏差 と故障密度関数の関係	240
図 4.2-1	同一セル内機器全停止シミュレーション	242
図 4.3-1	バッファ容量によるプラント稼働率の変化	244
図 4.4-1	平均修復時間 (MTTR) によるプラント稼働率の変化	249
図 4.5-1	ゲル化振動充填システムシミュレータフロー図 (50t、AB/ICorOC)	251
図 4.5-2	ゲル化振動充填システムシミュレータフロー図 (50t、RB)	254
図 4.5-3	ゲル化振動充填システムシミュレータフロー図 (200t、AB/ICorOC)	255
図 4.5-4	ゲル化振動充填システムシミュレータフロー図 (200t、RB)	258
図 4.6-1	システム間のプラント稼働率の比較 (50 トン)	264
図 4.6-2	システム間のプラント稼働率の比較 (200 トン)	265
図 4.6-3	システム間の固体廃棄物発生量の比較	266

表目次

表 2.1-1	キャンペーン運転検証モデル流量収支表 (処理ブロック稼働率 100%)	9
表 2.1-2	キャンペーン運転検証モデル流量収支表 (処理ブロック稼働率 70%)	10
表 2.2-1	バッチ処理装置単体稼働率シミュレーション結果	14
表 2.2-2	バッチ処理システムの物流収支	16
表 2.3-1	処理ブロック単体稼働率シミュレーション結果	20
表 2.3-2	処理ブロック 2~4 並列接続の検算結果	21
表 2.3-3	処理ブロック 2~4 並列接続の検算結果 (セル内全停止システム)	22
表 2.3-4	同一セル内全停止フローの物流収支	24
表 3.1-1	故障頻度と平均修復時間に関する設定と根拠	28
表 3.1-2	故障頻度と停止期間の算出課程 (ゲル化システムのバルブ)	29
表 3.1-3	故障頻度と停止期間の算出課程 (ゲル化システムのバルブ)	29
表 3.1-4	故障頻度と停止期間の算出課程 (ゲル化システムのポンプなど)	30
表 3.1-5	故障頻度と停止期間の算出課程 (ゲル化システムのモータ)	30
表 3.2-1	50t ペレットシステム特性データベース (50tHM/年)	31
表 3.2-2	50t ゲル化振動充填システム特性データベース (50tHM/年)	121
表 4.1-1	ペレットシステムのプラント稼働率および固体廃棄物発生量	240
表 4.3-1	バッファ容量によるプラント稼働率の変化	244
表 4.4-1	故障発生回数と延べ停止時間 (ペレットシステム)	248
表 4.4-2	平均修復時間 (MTTR) によるプラント稼働率の変化	249
表 4.5-1	ゲル化振動充填システムのプラント稼働率および固体廃棄物発生量	259
表 4.5-2	故障発生回数と延べ停止時間 (ゲル化振動充填システム)	260

1. はじめに

FBR サイクル実用化戦略調査研究では、候補となる FBR サイクルシステムについて安全性、経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、運転・保守補修性などの観点から総合的なシステム検討と特性評価を行っている。その一環として、簡素化ペレット法を適用した低除染ペレット燃料製造施設構成の合理化に関する調査を行うとともに、本別冊では、プラント稼働率と廃棄物発生量に着目した、燃料製造システム間の比較評価手法に関する研究を行った。

昨年度までに、機器や構成部品の故障頻度と、定期交換間隔を入力することで、プラント稼働率と廃棄物発生量の計算を行う特性シミュレータを開発し、この応用による燃料製造システム間の特性比較を実施した。この結果、稼働率に代表されるシステム安定性と廃棄物発生量に代表される環境負荷低減性について、各燃料製造システムの特徴を示すことが可能であり良好なシステム特性評価ができることを確認した。しかし、その一方でシミュレータによる公正な特性評価を行うためには、比較対象となる燃料製造システム間で一定基準で取得されたデータを用いる必要があるなどの課題を明らかになった。

今年度は、特性シミュレータに関して、キャンペーン運転やバッチ処理装置に対応するためのプログラムの改良を行い、施設設計の成果をより正確に反映し定量性の良い計算が可能となるようにした。また、昨年度明らかにした特性評価上の課題を受け、システム特性データに一定の取得基準を設けた上で燃料製造システムの設計を行い、システム間の比較を前提としたデータベースを作成した。このようにして作成したデータベースに基づきペレットシステムとゲル化振動充填システムの特性評価と比較を行った。

2. シミュレータの改良と検証

2.1 キャンペーン運転への対応

従来の特性シミュレータは、200tHM/年規模のペレットシステムのように、内側炉心燃料（以後 IC 燃料と記述する）、外側炉心燃料（以後 OC 燃料と記述する）、軸方向ブランケット燃料（以後 AB 燃料と記述する）および径方向ブランケット燃料（以後 RB 燃料と記述する）の製造が概ね独立した製造ラインでスタートするプラントへの適用を想定していた。しかし、50tHM/年規模の例えば射出鑄造システムのように、小規模のプラントでは一つの製造ラインで複数種類の燃料をつくり分ける方が合理的と考えられている。

従来のシミュレータは、このように一つの製造ラインで複数種類の燃料をつくり分け、さらに製造燃料を切替えるごとに基本流量（単位時間当たりの HM 処理量）や処理ブロックの設定能力（機器設備の処理能力）が変わるシステムに対して十分な模擬を行う機能がなかった。そこで、シミュレーションの途中から何度でも基本流量および処理ブロックの設定能力の変更を可能にし、同一ラインで製造燃料を切替えるときのシミュレーションが可能となるような改良を行った。

(1) 改良の内容

キャンペーン運転モデルのプログラム概念を図 2.1-1 に示した。

キャンペーン運転では、例えば 1 製造ラインで AB 燃料、IC 燃料、OC 燃料および RB 燃料の製造を行うとすると、年間製造量の比率および臨界制限値などから決まる 4 種類の基本流量が製造順に設定されなくてはならない。また、製造燃料が切替るタイミングは、キャンペーンで区切られた計画量を処理し終えたときとする必要があり、この計画量を入力できるようにする。さらに、燃料要素組立工程を正確に模擬するために、AB 燃料は、IC 燃料または OC 燃料と一定比率（入力値）で払出されるようにする。

(2) 改良の検証

(a) 検証用モデル

図 2.1-2、図 2.1-3 に、キャンペーン運転プログラム検証用のモデル（ブロックフロー）およびその説明図を示す。本モデルは仮想的に 1 つの製造ラインで、AB 燃料、IC 燃料、OC 燃料、RB 燃料の順で燃料製造を行うものである。工程は処理ブロックで表現され、簡略化のためペレット製造工程と燃料ピン製造工程はそれぞれ 1 工程（1 処理ブロック）で表現している。

(b) 検証用モデルへの入力条件およびブロックの基本動作

【AB ペレットの製造】

『基本流量ブロック』から『処理ブロック(AB)』に、AB ペレットの基本流量(180)が流れる。

ABペレットの流量(180)が、『ライン切替 A』を經由して『バッファ(AB)』に貯留される。

『ライン切替 A』を通過した積算値が設定値に到達したら、ライン切替信号を上流の『基本流量ブロック』に伝達して、吐出する流量を IC ペレットの基本流量(100)に切り替える。

【ICペレットの製造】

『基本流量ブロック』から『処理ブロック(IC)』に、ICペレットの基本流量(100)が流れる。

ICペレットの流量(100)が、『ライン切替 A』を經由して『バッファ(IC)』に貯留される。

『ライン切替 A』を通過した積算値が設定値に到達したら、ライン切替信号を上流の『基本流量ブロック』に伝達して、吐出する流量を OC ペレットの基本流量(50)に切り替える。

上記の流れにて基本流量を、

AB IC OC RB AB

の順に切り替えて行く。

【AB + ICペレットによる燃料ピン製造】

『調整混合(AB + IC)』により、『バッファ(IC)』からの1回目の吐出(100)と同時に、『バッファ(AB)』からこれに対応した量(120)*1を吐出させる。『バッファ(AB)』内のABペレットは、IC燃料が『バッファ(IC)』に到着し1回目が出吐されるまでバッファ内に貯留されたままとなっている。

『調整混合(AB + IC)』からのABペレットとICペレットの合計流量(220)は、『処理ブロック(AB + IC)』を經由して『ライン切替 B』に流れる。

『ライン切替 B』の積算値が設定値に到達したら、ライン切替信号を上流に伝達し、『調整混合(AB + IC)』にAB + ICペレット燃料の吐出を停止させるとともに、『調整混合(AB + OC)』からのAB + OCペレット燃料の吐出に切り替える。

上記の流れにて、『調整混合』からの流量を、

AB + IC AB + OC RB AB + IC

の順に切り替えて行く。

*1 : ABペレットの製造量(180)のうち、ICペレット(100)とOCペレット(50)の合計に対するICペレット(100)の比率分だけ、ABペレット(120)を吐出する。

$$180 \times 100 / (100 + 50) = 120$$

(c) 検証結果

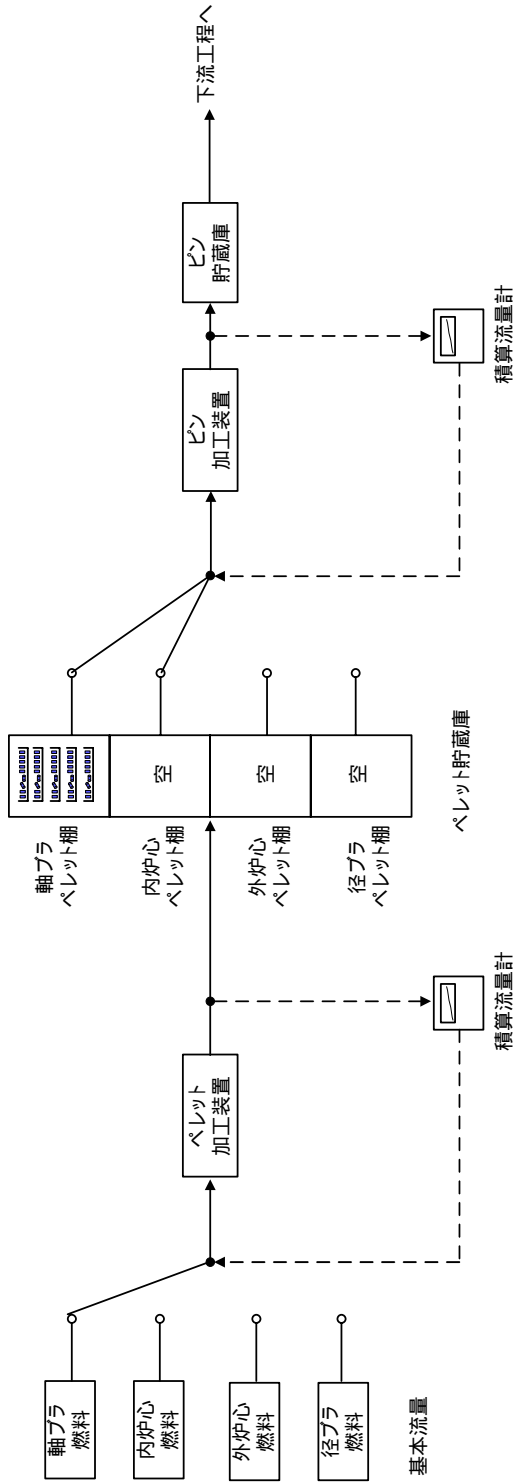
はじめに、本モデルにおける製造燃料の切替え動作を分かり易くするため、各処理

ブロックの稼働率を 100%とし流量収支の確認を行った。この結果を表 2.1-1 に示す。

本表から AB 燃料～RB 燃料までの製造燃料が、設定した積算量进行处理することに切り替わっていることが分かり、処理ブロックに故障が発生しない場合、本モデルの動作の健全性が確認できる。

次に、各処理ブロックの稼働率を 70%とした場合に、製造燃料の切替えおよび各ブロック故障時の処理の停止などが正常に行われるか、流量収支をとり確認した。この結果については表 2.1-2 に示す。

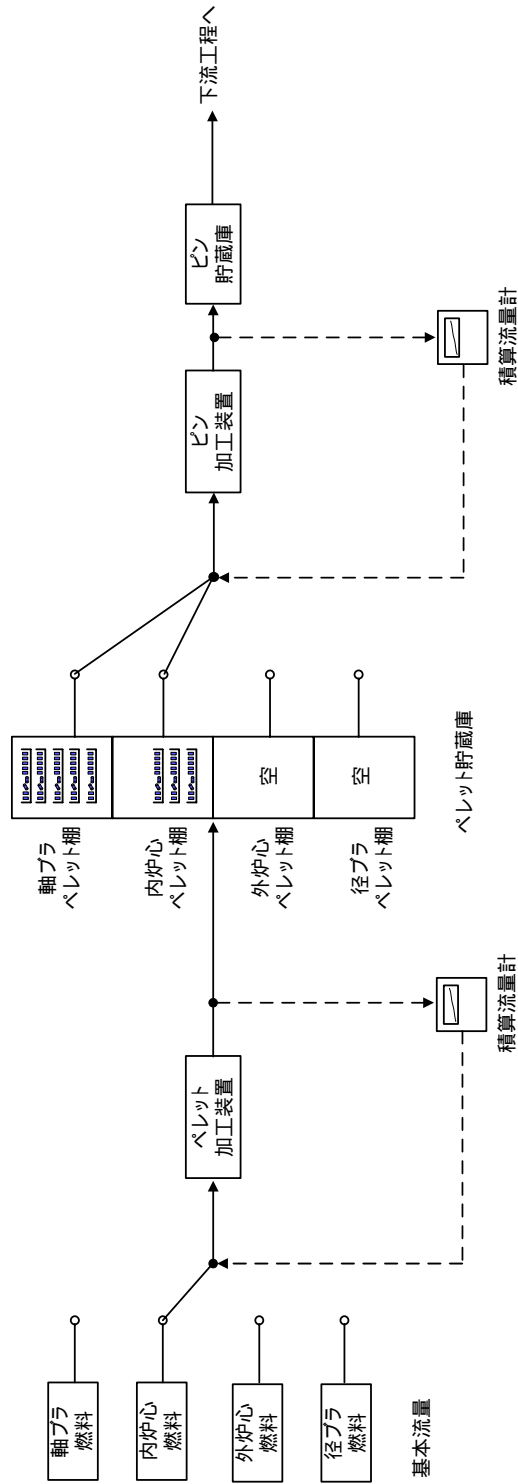
本表から、バッファ A～D に関して、上流の処理ブロックが故障している間は受入れを停止し、同ブロックの故障が復旧してから処理を再開しており、設定積算量に到達するまで同種の燃料の処理を継続している。つまり、処理ブロックに故障が発生する場合についても、本モデルの正常な動作が確認できる。



フロー第1図
(軸ブラペレット製造)

ペレットの通過積算個数
で基本流量を切り替える

軸ブラペレットが所定積算量貯蔵され、上図は内炉心ペレット貯蔵を待機しているところ



フロー第2図
(軸ブラ + 内炉心)

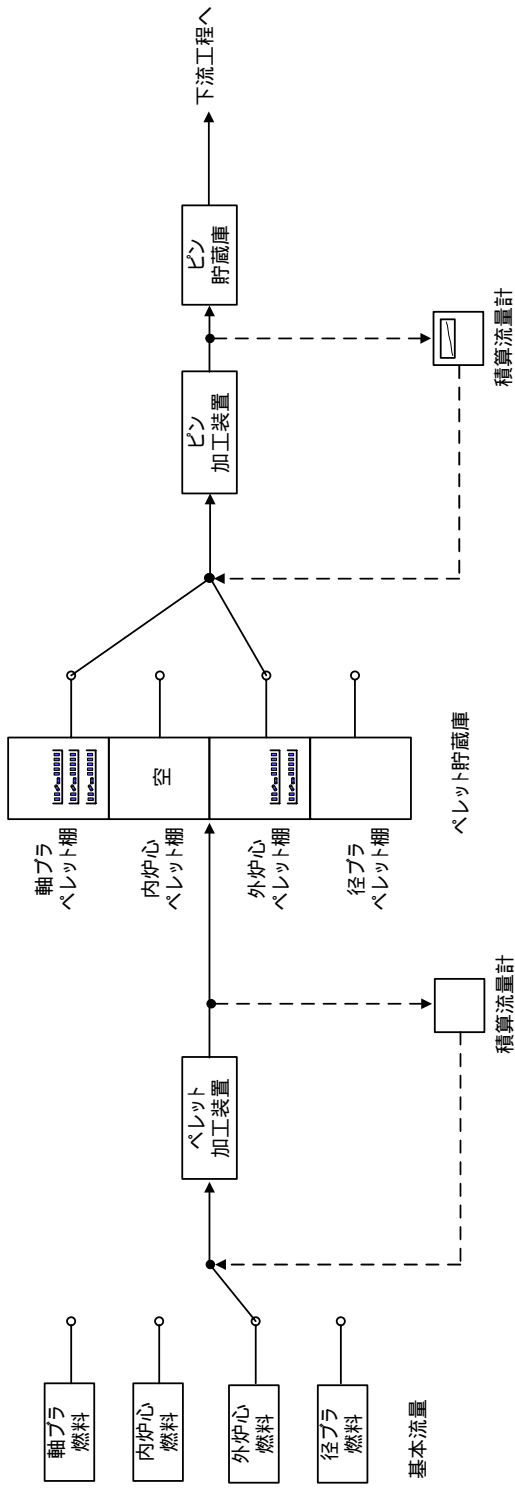
ペレットの通過積算個数
で基本流量を切り替える

軸ブラペレットが所定積算量製造され、燃料ピン1本分の内炉心ペレットが貯蔵されたらピン加工に払い出し開始

ペレットの通過積算個数で貯蔵庫から払い出すペレットの種類を切り替える

図2.1-1 キャンペーン運転モデルの概念(1/2)

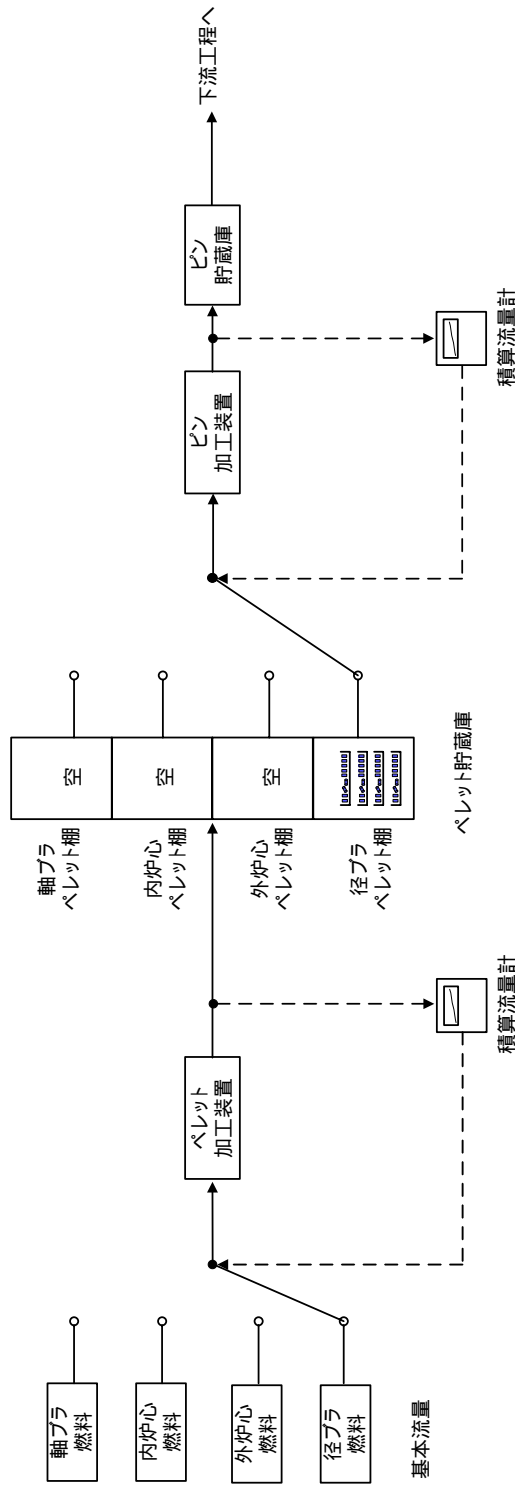
フロー第3図
(軸ブラ + 外炉心)



ペレットの通過積算個数で基本流量を切り替える

・所定量の内側炉心燃料ピンが積算流量に達したら、次は軸ブラペレット + 外炉心ペレットの払い出しに切り替える

フロー第4図
(径ブラ)



ペレットの通過積算個数で基本流量を切り替える

・所定量の外側炉心燃料ピンが積算流量に達したら、次は径ブラペレットの払い出しに切り替える。
(これ以降は第1図～第4図の繰り返し)

図2.1-1 キャンペーン運転モデルの概念(2/2)

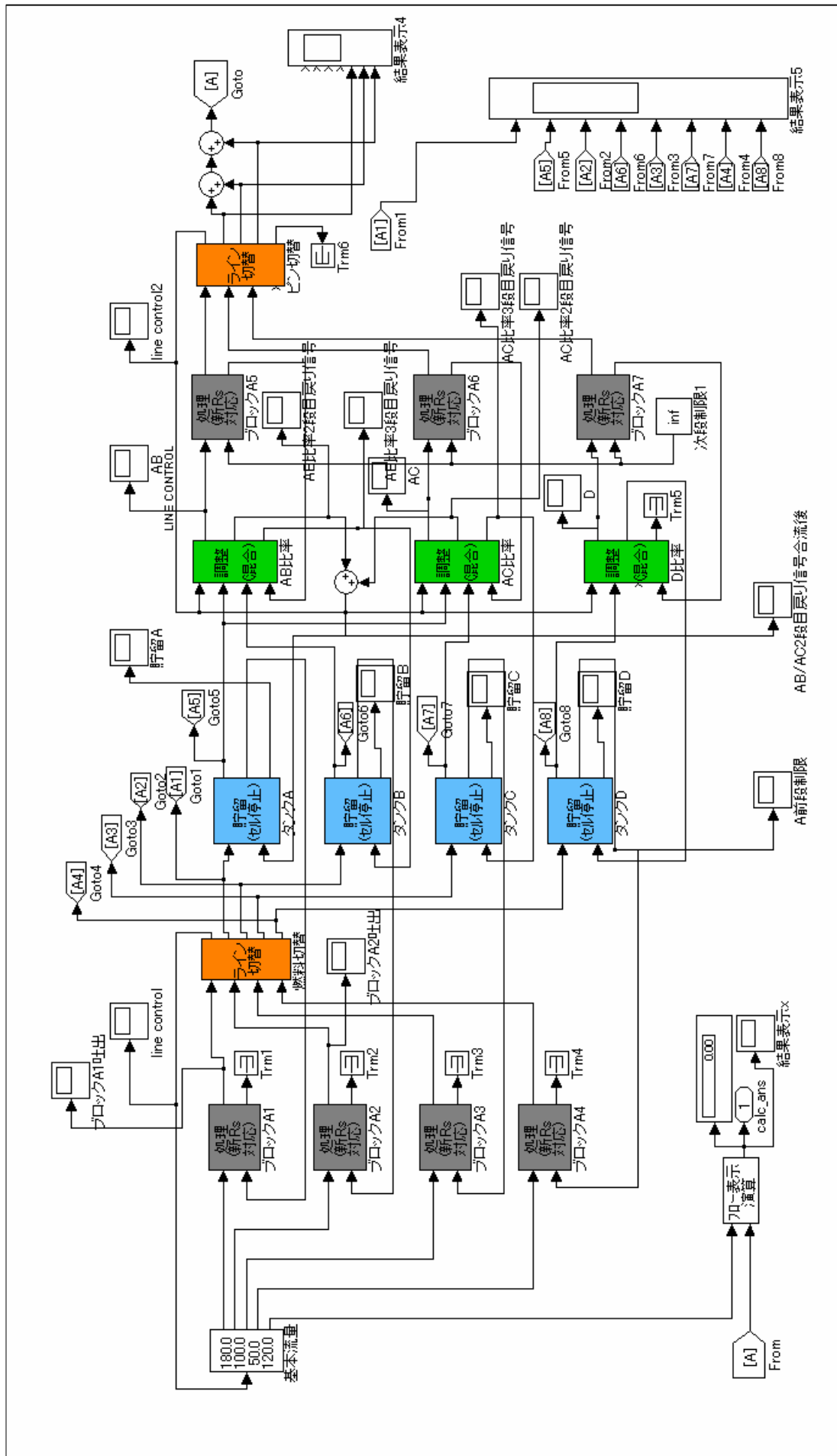


図2.1-2 キャンペーン運転検証用モデル

表2.1-1 キャンペーン運転検証モデル流量収支表 (処理ブロック稼働率100%)

シミュレーション回数(回目)	1 バッファA 受入れ	2 バッファB 受入れ	3 バッファC 受入れ	4 バッファD 受入れ	5 バッファA 貯留	6 バッファB 貯留	7 バッファC 貯留	8 バッファD 貯留	9 バッファA 払い出し	10 バッファB 払い出し	11 バッファC 払い出し	12 バッファD 払い出し	13 調整後 (AB混合) 払い出し	14 調整後 (AC混合) 払い出し	15 調整後 (Dのみ) 払い出し	備考
1																<p>処理ブロックが、シミュレーションの初回に必ずMTTR回数分故障してしまうため、今回の修正により、初回からMTTR回数分の間、基本流量ブロックからの払い出しを停止するとともに、この間の稼働率計算は行わないように修正したことによる空白。</p> <p>初回に必ずMTTR回数分故障しても、数万～数十万回のシミュレーション回数に比較して非常に小さく、シミュレーション結果にはほとんど影響しないものであるとしていたが、今年度、シミュレーションの精度をより向上させるために修正したものである。</p>
2	180				180											
3	180				360											
4	180				540											
5	180				720											
6	180				900											
7	180				1080											
8	180				1260											
9	180				1440											
10	180				1620											
11	180				1800											
12	180				1800	100										
13	180				1680	100			120	100						
14	180				1560	100			120	100						
15	180				1440	100			120	100						
16	180				1320	100			120	100						
17	180				1200	100			120	100						
18	180				1080	100			120	100						
19	180				960	100			120	100						
20	180				840	100			120	100						
21	180				720	100			120	100						
22	100				600		50		120	100						
23	100				540		50		60		50					
24	100				480		50		60		50					
25	100				420		50		60		50					
26	100				360		50		60		50					
27	100				300		50		60		50					
28	100				240		50		60		50					
29	100				180		50		60		50					
30	100				120		50		60		50					
31					60		50		60		50					
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51	180				180											
52	180				360											
53	180				540											
54	180				720											
55	180				900											
56	180				1080											
57	180				1260											
58	180				1440											
59	180				1620											
60	180				1800											
61					1800	100			120	100						
62					1680	100			120	100						
63					1560	100			120	100						
64					1440	100			120	100						
65					1320	100			120	100						
66					1200	100			120	100						
67					1080	100			120	100						
68					960	100			120	100						
69					840	100			120	100						
70					720	100			120	100						
71					600		50		120	100						
72					540		50		60		50					
73					480		50		60		50					
74					420		50		60		50					
75					360		50		60		50					
76					300		50		60		50					
77					240		50		60		50					
78					180		50		60		50					
79					120		50		60		50					
80					60		50		60		50					
81																
82																
83																
84																
85																
86																
87																
88																
89																
90																
91																

表2.1-2 キャンペーン運転検証モデル収支表 (処理ブロック稼働率70%)

シミュレーション回数 (回目)	1 ハッパA 受入れ	2 ハッパB 受入れ	3 ハッパC 受入れ	4 ハッパD 受入れ	5 ハッパA 貯留	6 ハッパB 貯留	7 ハッパC 貯留	8 ハッパD 貯留	9 ハッパA 払い出し	10 ハッパB 払い出し	11 ハッパC 払い出し	12 ハッパD 払い出し	13 調整後 (AB混合) 払い出し	14 調整後 (AC混合) 払い出し	15 調整後 (Dのみ) 払い出し	備考
1																本ケースでは、ブロック故障時の検証を行うために、フロー中の全処理ブロック(A1~A7)稼働率を70%とした。
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11	180				180											
12	180				360											
13	180				540											
14	180				720											
15	180				900											
16	180				1080											
17	180				1260											
18	180				1440											
19	180				1620											
20	180				1800											
21	180				1800	100										
22	100				1680	上流故障			120	100			220			
23	上流故障				1680								下流故障			
24	上流故障				1680				下流故障	下流故障			下流故障			
25	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
26	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
27	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
28	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
29	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
30	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
31	上流故障				1680				上流故障	上流故障			上流故障			
32	100				1680	200			上流故障	上流故障			上流故障			
33	100				1680	300			上流故障	上流故障			上流故障			
34	100				1560	300			上流故障	上流故障			上流故障			
35	100				1440	300			120	100			220			
36	100				1320	300			120	100			220			
37	100				1320	400			120	100			220			
38	100				1320	500			下流故障	下流故障			下流故障			
39	100				1320	600			上流故障	上流故障			上流故障			
40	100				1320	700			上流故障	上流故障			上流故障			
41	50				1320	700	50		上流故障	上流故障			上流故障			
42	50				1320	700	100		上流故障	上流故障			上流故障			
43	50				1320	700	150		上流故障	上流故障			上流故障			
44	50				1320	700	200		上流故障	上流故障			上流故障			
45	50				1320	700	250		上流故障	上流故障			上流故障			
46	50				1320	600	300		上流故障	上流故障			上流故障			
47	50				1200	500	350		120	100			220			
48	50				1080	400	400		120	100			220			
49	上流故障				960	300	450		120	100			220			
50	上流故障				840	200	500		120	100			220	下流故障		
51	上流故障				720	100	500		120	100			220			
52	上流故障				600	0	500		120	100			220			
53	上流故障				600		500									
54	上流故障				600		500									
55	上流故障				600		500									
56	上流故障				600		500									
57	上流故障				600		500									
58	120				600		500	120								
59	120				600		500	240								
60	120				540		450	360	60							
61	120				480		400	480	60							
62	120				420		350	600	60							
63	120				360		300	720	60							
64	120				300		250	720	60							
65	上流故障				240		200	720	60							
66	上流故障				180		150	720	60							
67	上流故障				120		100	720	60							
68	上流故障				60		50	720	60							
69	上流故障				0		0	720	60							
70	上流故障							600								
71	上流故障							480								
72	上流故障							360								
73	上流故障							240								
74	120							240								
75	120							240								
76	120							240								
77	120							240								
78	120							120								
79	120							0								
80	120							0								

2.2 バッチ処理への対応

従来のシミュレータでは、例えば射出鋳造システムの射出成型装置のようにバッチ処理を行う機器に対しても、バッチ処理時間の全体に渡り平均処理速度で連続的に処理を行うものとして計算していた。しかし、バッチ処理装置では間欠的に原料の受入れと製品の払出しが行われるため、比較的短い時間における経時的な物流を求めようとした場合、必ずしも正確なシミュレーションができない。

また、バッチ処理装置の前後にバッファを設ける場合、バッファ容量とバッチ処理量の設定によっては（バッファ容量がバッチ処理量と同程度または小さいとき）、稼働率の計算結果に影響する可能性もある。

そこで、バッチ処理装置のシミュレーションが可能となるようなプログラムの改良を行った。

(1) 改良の内容

図 2.2-1 に示すように、4つの貯留ブロックと改良型処理ブロックからなるバッチ処理システム（5つのブロックで構成されるサブシステム）を作成した。本システムにより、一度受け入れた物流を設定したシミュレーション回数の間保持した後、払出すことが可能となる。

参考のため、バッチ処理装置の概念図を図 2.2-2 に、本システムの物流に関するイメージグラフを図 2.2-3 に示す。

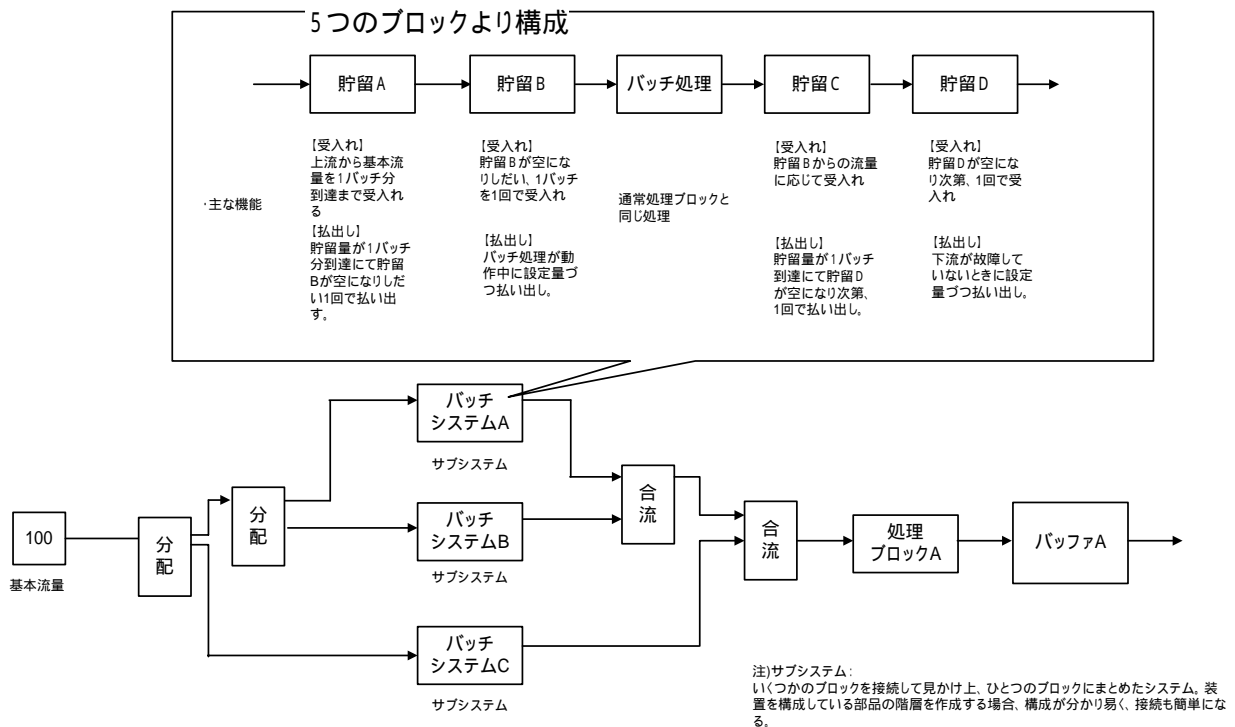


図 2.2-1 バッチ処理システムの機能

バッチ処理ブロックのサブシステム

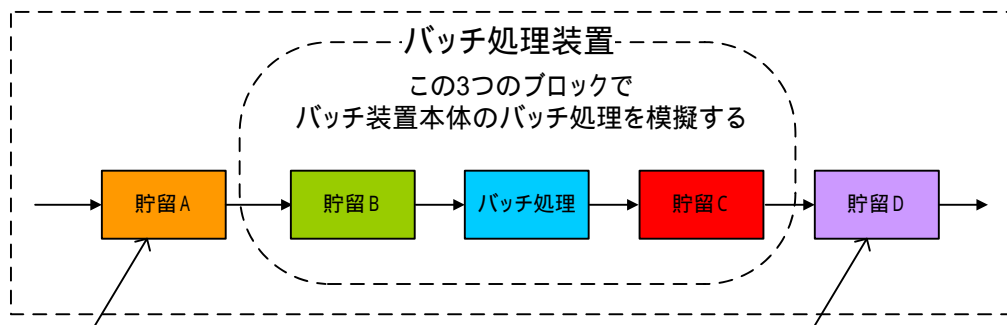


図2.2-2の
一時保管棚(入側)に相当するブロック

図2.2-2の
一時保管棚(出側)に相当するブロック

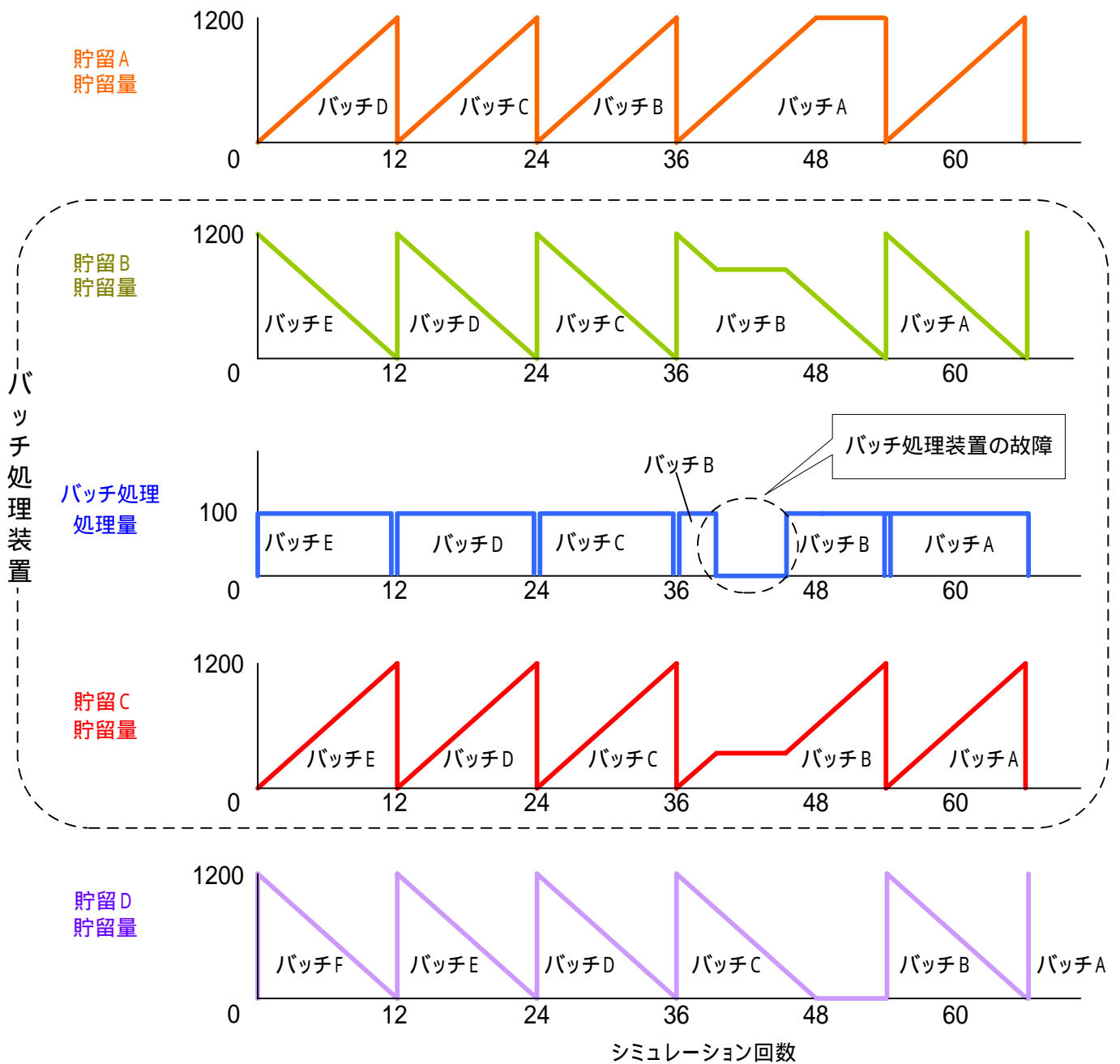


図2.2-3 バッチ処理システムの物流グラフ

(2) 改良の検証

新規作成したバッチシステムブロックによるシミュレーションの妥当性を確認するため、ブロックフローを作成し検証作業を行った。

(a) 改良ブロックの検証

まず、改良ブロック単体の健全性を確認するため、図 2.2-4 のフローを作成し単体稼働率の計算を行った。計算結果を設定稼働率と合わせて表 2.2-1 に示す。本表からシミュレーションの結果は、従前のシミュレータと同等の誤差範囲（10 万回～100 万回のシミュレーション回数で最大約 3%以内）に収まることを確認した。

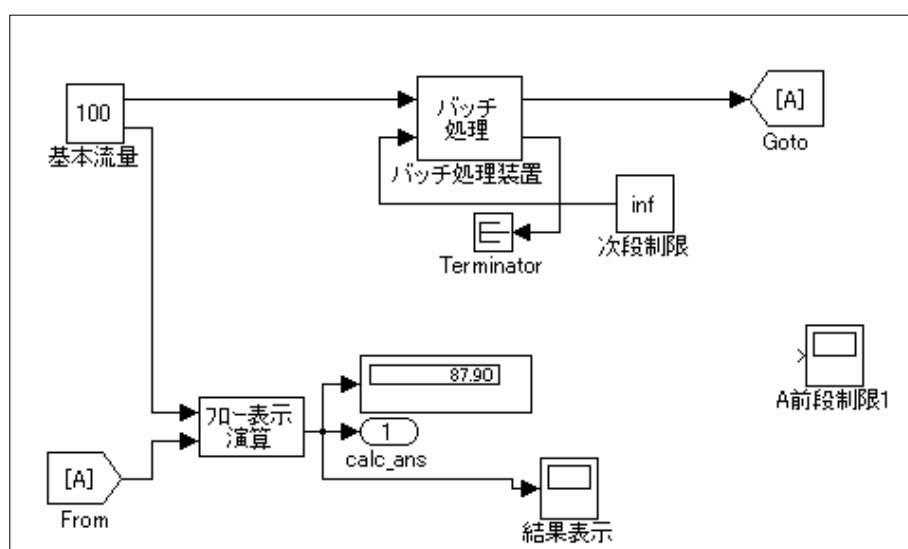


図 2.2-4 バッチ処理ブロック単体フロー

表 2.2-1 バッチ処理装置単体稼働率シミュレーション結果

バッチ処理装置の設定稼働率		10%	30%	50%	70%	90%	備考
計算結果	MTTR = 1	9.98%	29.90%	50.08%	70.08%	89.98%	図 2.2-4 のフローを参照
	MTTR = 10	9.92%	29.94%	52.20%	70.50%	89.96%	
	MTTR = 100	9.85%	29.83%	50.39%	72.39%	92.19%	
	MTTR = 1000	10.13%	29.67%	49.50%	68.00%	89.00%	

シミュレーション回数は、MTTR の長さに応じて収束の見込める回数(10 万回～100 万回)とした。

(b) ブロックフローによる検証

図2.2-5の簡略的なバッチ処理ブロックフローを作成し、シミュレーションを行った。ブロックフローの各地点における物流収支を、あるシミュレーション期間についてまとめたものを表2.2-2に示す。

本表の例えばバッチ処理装置Aにおいて、構成する「貯留A」の貯留量がバッチ処理量の1200に到達すると一括「貯留B」に払出し、続いて「貯留B」よりバッチ処理時間をかけて「貯留C」に払出ししている。さらに、「貯留C」の貯留量がバッチ処理量の1200に到達すると一括「貯留D」に払出し、後処理ブロックへと順次払出しを行っている。また、バッチ処理ブロックで故障が発生すると平均修復時間（MTTR）の処理の中断を経て、処理を継続している。

従って、本表より図-2.2-3に示したイメージ通りの物流収支であることが確認できる。

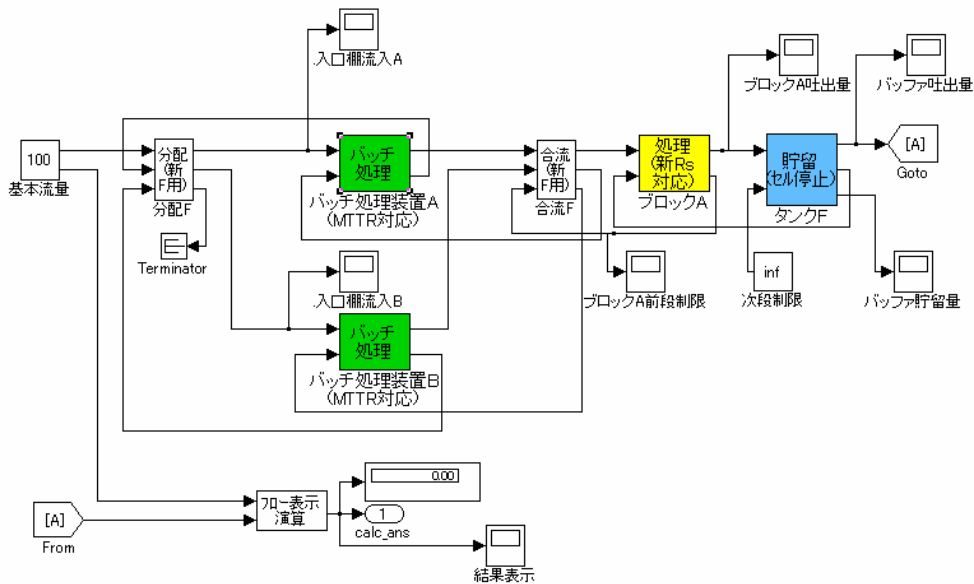


図 2.2-5 バッチ処理のブロックフロー

2.3 機器停止範囲の選択（同一セル内機器全停止）

現状の原子力プラントを考えると、ある機器が故障した場合、その補修作業中に同一セル内の他の機器を動かすことが、基本的に不可能となる可能性がある。そこでそのときの影響を明らかにできるように、燃料製造ブロックフロー上の停止対象範囲を、セル内配置計画などを反映して任意に選択できるようにする改良を行った。

(1) 改良の内容

本改良では、図 2.3-1 に示すように、ブロックフロー中にセル範囲であることを指定するセル開始ブロックとセル終了ブロックを接続する。この結果、例えば処理ブロック A が故障した時は、同一セル内に設置されている処理ブロック B、C、D の処理は、処理ブロック A の補修期間（MTTR）の間停止することになり、一方、セル外に設置されているバッファ A への受入れおよびバッファ C からの払出しは継続する。

このようなシステムとした場合、直列接続と並列接続におけるシステム全体の稼働率としては、図 2.3-2 に示す通りになることが予想される。つまり、セル内の処理ブロックの接続方法（直列あるいは並列）によらず、セル内のいずれかのブロックの停止で、同一セル内の全体が停止することになるため、シミュレーション結果はセル内の処理ブロックを直列に接続した場合と同じになると考えられる。

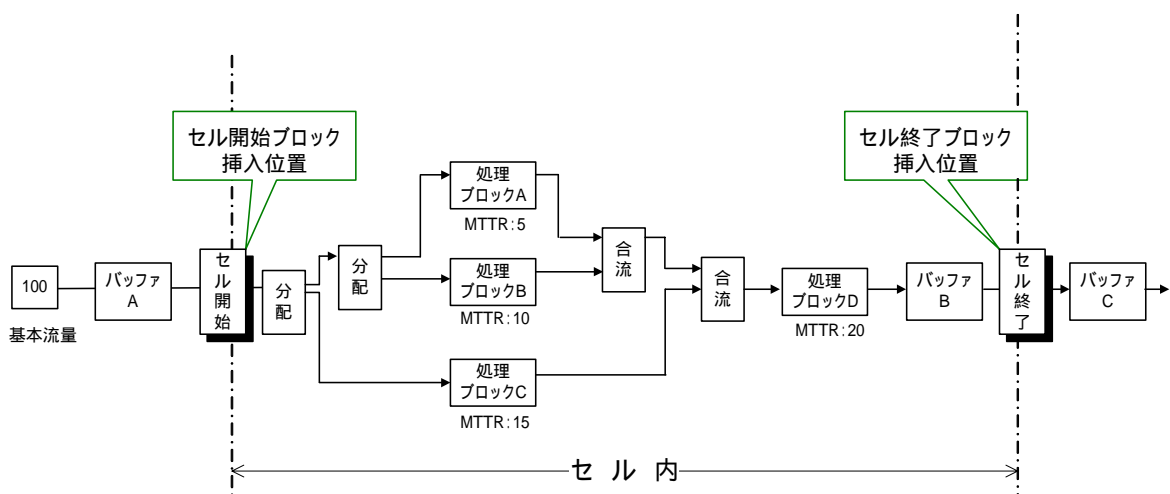


図 2.3-1 セル内全停止システム接続例

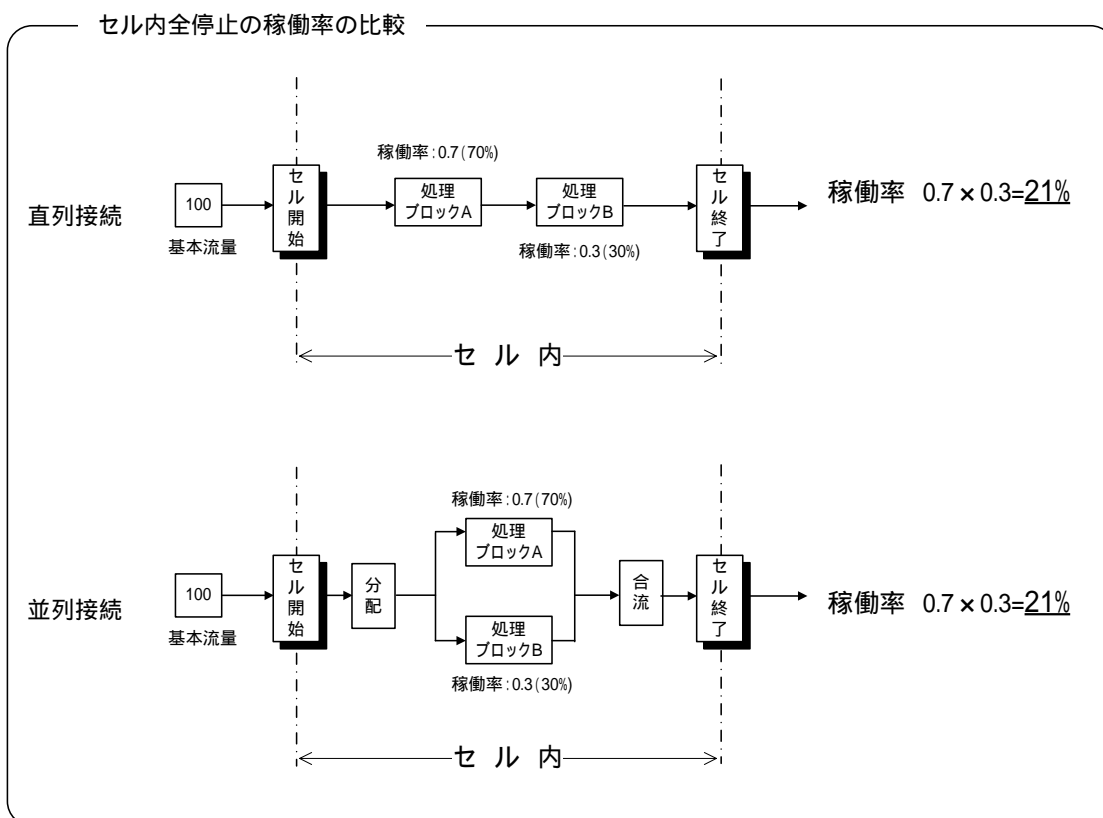
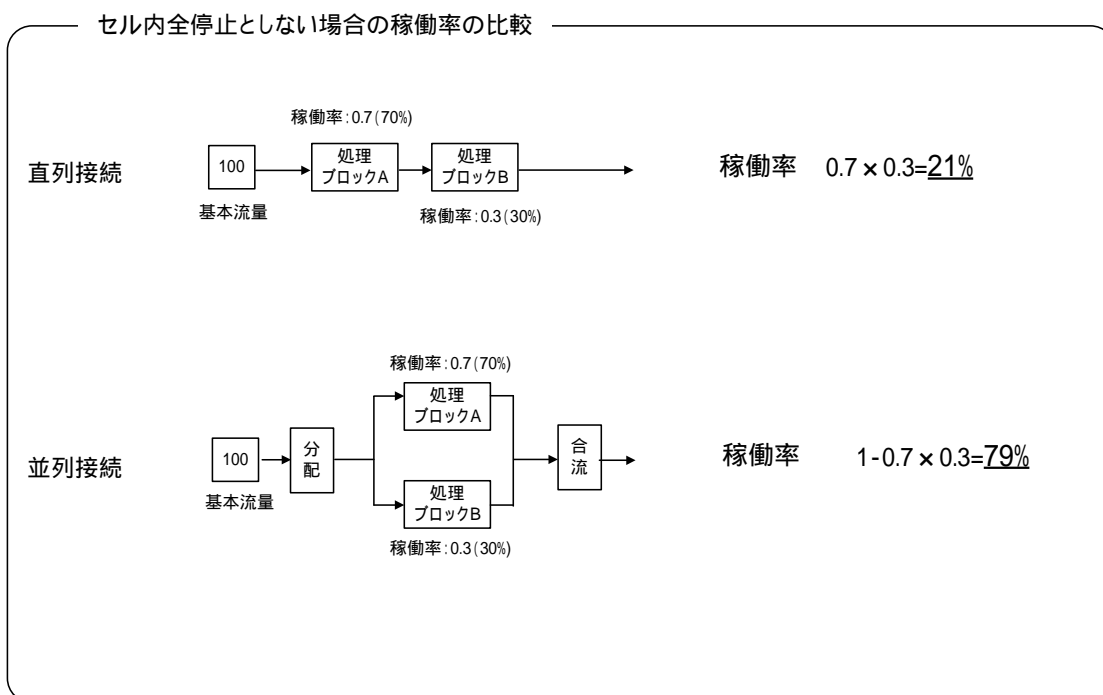


図 2.3-2 セル内全停止システムの予測稼働率

(2) 改良の検証

本改良では、セル開始、終了ブロックを新規作成したほか、基本ブロック（処理ブロック、バッファブロック、合流・分配ブロック等）についても同一セル内機器全停止システムに対応するため、セル内にあることを伝達する新たな信号を取り扱うためのプログラム変更を行った。改良ブロックによるシミュレーション結果の妥当性を確認するため、いくつかのフローを作成して検証作業を行った。

(a) 改良ブロックの検証（その1）

まず、ブロック単体の健全性を確認するため、図 2.3-3、図 2.3-4 のフローで単体稼働率の計算を行い、計算結果を設定稼働率または統計的計算値と合わせて、表 2.3-1、表 2.3-2 に示した。本表からシミュレーション結果は、従前のシミュレータと同等の誤差範囲（10 万回～100 万回のシミュレーション回数で最大約 3%以内）に収まることを確認した。

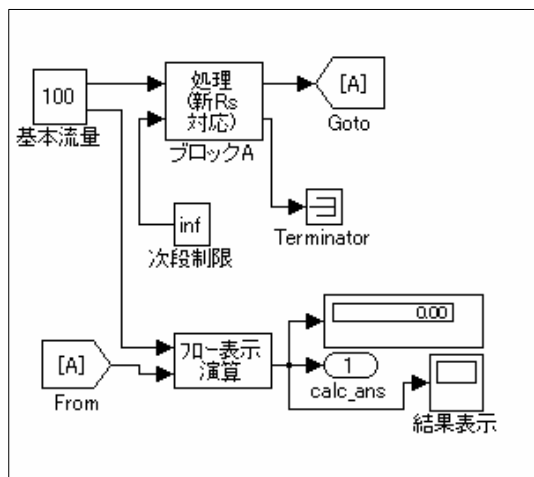


図 2.3-3 処理ブロック単体フロー

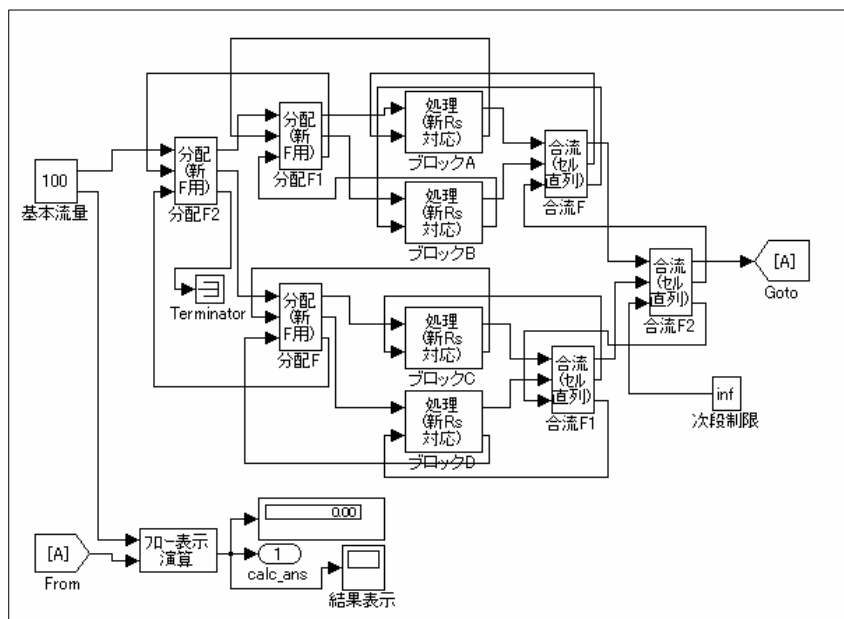


図 2.3-4 処理ブロック 4 並列接続のフロー

表 2.3-1 処理ブロック単体稼働率シミュレーション結果

ブロック A の設定稼働率		10%	30%	50%	70%	90%	備考
計算結果	MTTR = 1	9.95%	29.93%	49.97%	69.89%	89.96%	図 2.3-3 のフローを参照
	MTTR = 10	9.93%	29.94%	50.21%	70.51%	89.97%	
	MTTR = 100	9.85%	29.84%	50.40%	72.40%	92.20%	
	MTTR = 1000	10.17%	29.67%	49.50%	68.00%	89.00%	

シミュレーション回数は、MTTR の長さに応じて収束の見込める回数(10 万回 ~ 100 万回)とした。

表 2.3-2 処理ブロック 2～4 並列接続の検算結果

ブロックの接続	ブロック稼働率	統計的計算値	シミュレータ計算結果	備考
2 並列	R 1 = 0.5 R 2 = 0.6	80.0	<u>80.2</u> %	図 2.3-4 の70-を参照（分配、合流の比率を調整して2並列から4並列を計算した。） シミュレーション回数：10万回
3 並列	R 1 = 0.5 R 2 = 0.6 R 3 = 0.7	94.0	<u>94.0</u> %	
4 並列	R 1 = 0.5 R 2 = 0.6 R 3 = 0.7 R 4 = 0.8	98.8	<u>98.7</u> %	

(b) 改良ブロックの検証（その2）

次に、3 並列接続（図 2.3-5）および 3 直列接続（図 2.3-6）について統計的計算値との比較を行った。いずれかのブロック停止で全ての物流が停止するため、両接続ケースの稼働率は等しくなり、その計算値は処理ブロック A の稼働率×処理ブロック B の稼働率×処理ブロック C の稼働率となる。表 2.3-3 に示す通りいずれのケースにおいても、シミュレーション結果が統計的計算値とほぼ等しい値となり、セル内であることの伝達信号を追加した本システムが正常に動作することを確認した。

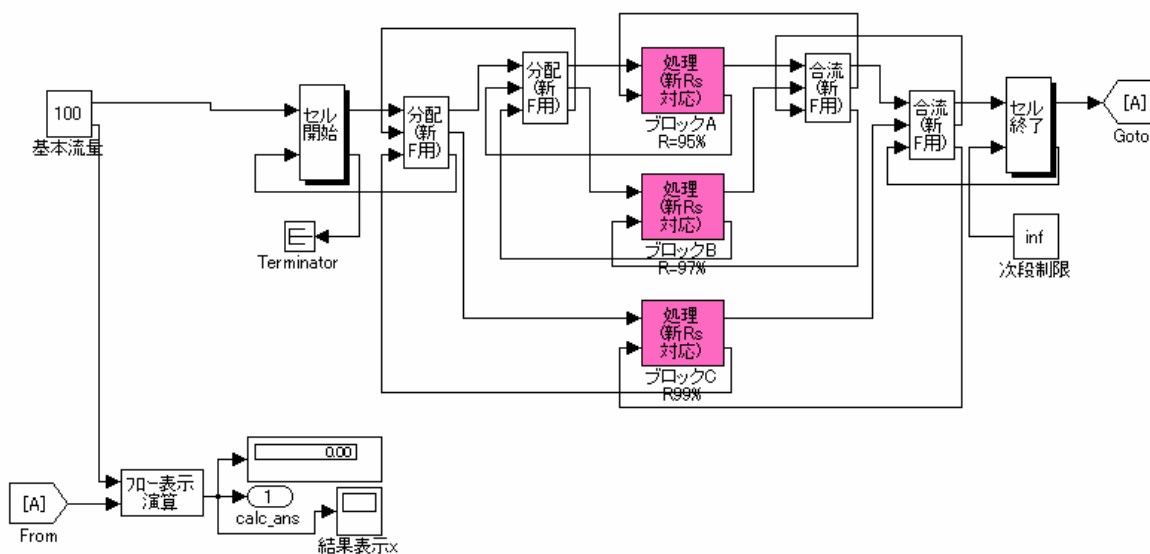


図 2.3-5 セル内全停止システム(並列接続)

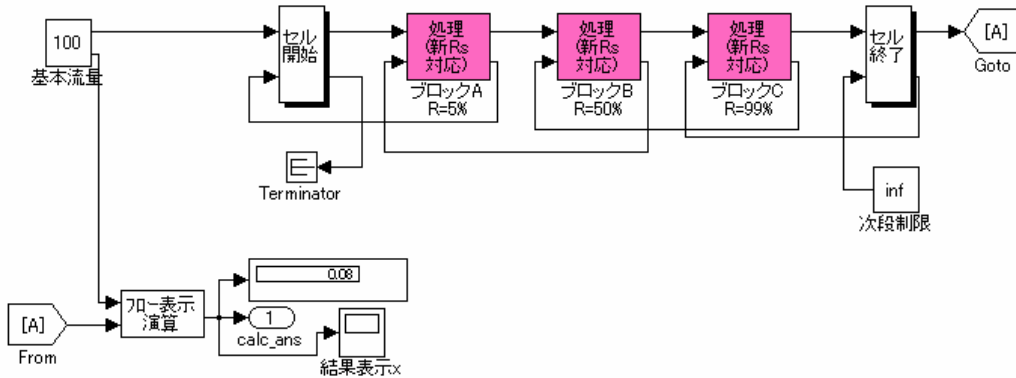


図 2.3-6 セル内全停止システム(直列接続)

表 2.3-3 処理ブロック 2～4 並列接続の検算結果 (セル内全停止システム)

ブロック稼働率			MTTR	統計的 計算値	シミュレーション結果		備考
					並列接続	直列接続	
ケース 1	処理ブロック A	5%	5	0.08%	0.073%	0.073%	シミュレーション回数 : 10 万回
	処理ブロック B	10%	10				
	処理ブロック C	15%	15				
ケース 2	処理ブロック A	50%	5	21.00%	21.06%	21.06%	
	処理ブロック B	60%	10				
	処理ブロック C	70%	15				
ケース 3	処理ブロック A	95%	5	91.23%	91.25%	91.25%	
	処理ブロック B	97%	10				
	処理ブロック C	99%	15				

続いて、セル内に貯留ブロックと処理ブロックの組合せを設置したときの同一セル内全停止ブロックフロー (図 2.3-7) を作成しシミュレーションを行った。ブロックフローの各地点における物流収支を、あるシミュレーション期間についてまとめたものを表 2.3-4 に示す。

本表から、セル内の各処理ブロックのいずれかが故障した場合、故障ブロックの MTTR 期間 (修理中) は、セル内の他ブロックからの流量の払い出しが停止されることを確認した。また、セル外のバッファについては、セル内機器故障の影響を受けずに、上流に設置されたものは払出しを止めるが受入れを継続し、下流に設置されたも

のは、受入れを止めるが、払出しを継続することを確認した。

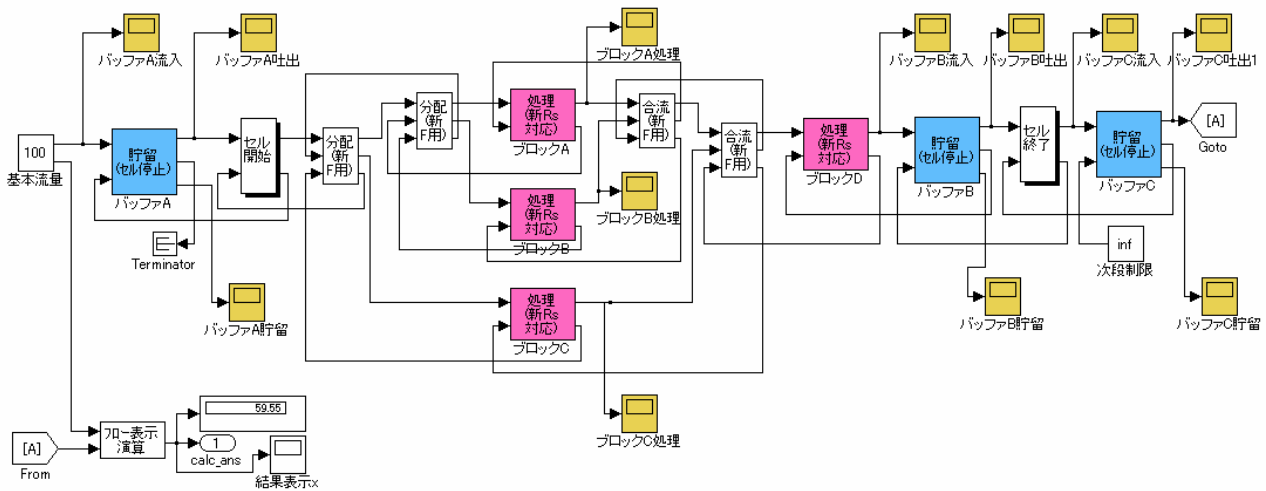


図 2.3-7 セル内全停止フロー

(c) 機器停止範囲の選択に関する課題

セル内全停止システムにおいて、表 2.3-4 からも分かるように、セル内全停止の基点となる故障が発生したブロックの MTTR 期間中（修理中）、他ブロックへの物流は停止する。しかし、この間も乱数に基づく“故障” or “動作”の判定は継続して行っており、ここで故障信号が立ってしまった場合、セル内全停止の基点となっているブロックによる MTTR 期間経過後、運転（正確にはシミュレーション）が再開されない。（表 2.3-4 中のシミュレーション 177～183 回目のブロック A、B の関係参照。）

実際の運転を想定すると、一斉停止期間中は、他の機器は動いていないため他の機器の故障は起こらないはずなので、基点となったブロックが MTTR 期間停止した後、一斉に全ブロックのシミュレーションを再開するのが正しいと考えられる。

従って、物流の定量性を向上させるためには、故障ブロックの修復後の動きをより正確に模擬する方法をさらに検討することが課題となる。

なお、本システムによる稼働率の計算結果は、表 2.3-3 より手計算の結果と等しく、正しい結果となっていると考えられる。これは、稼働率の計算結果に影響を与えるのは物流の有無であって、本システムのような動作をしても、計算期間中、設定された稼働率の割合で正しく物流が行われているため、稼働率の計算結果そのものには影響を与えていないためである。

2.4 物流経時的検討への対応

任意かつ複数の機器設備間の物流や、バッファ・貯蔵庫における貯留量の推移を、シミュレーション回数を横軸に同期プロットすることで、経時的な確認ができるよう改良を行った。

本改良は、図 2.4-1 のキャンペーン運転のブロックフローの例で示すように、例えば貯留ブロックの前後にスコープを接続し、これを多軸スコープに接続することにより、一度に設定箇所分（図では 8 箇所）の貯留ブロックの物流（出入り）を見れるようになるものである。

図 2.4-1 の接続例において、シミュレーションを行った際の貯留ブロックへの出入りに関する出力結果を、図 2.4-2 に示した。図のように各グラフを同じ横軸で比較できるため、全体の物流を把握しやすくなり、シミュレーション結果を解析するためのツールとすることができる。

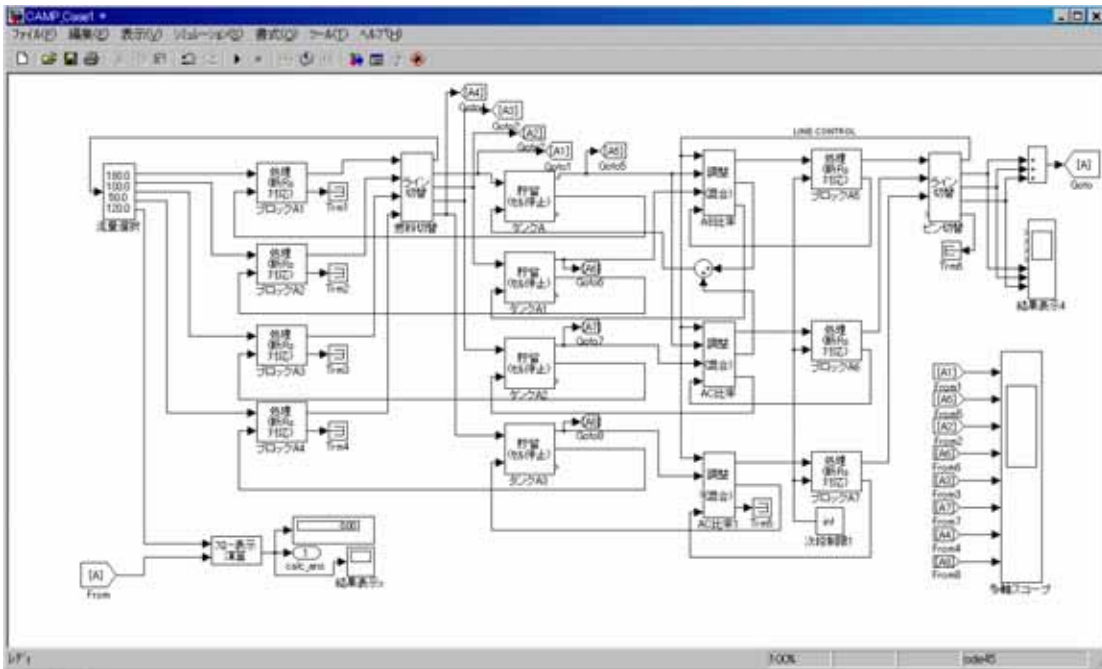


図 2.4-1 ブロックフロー中における多軸スコープの使い方

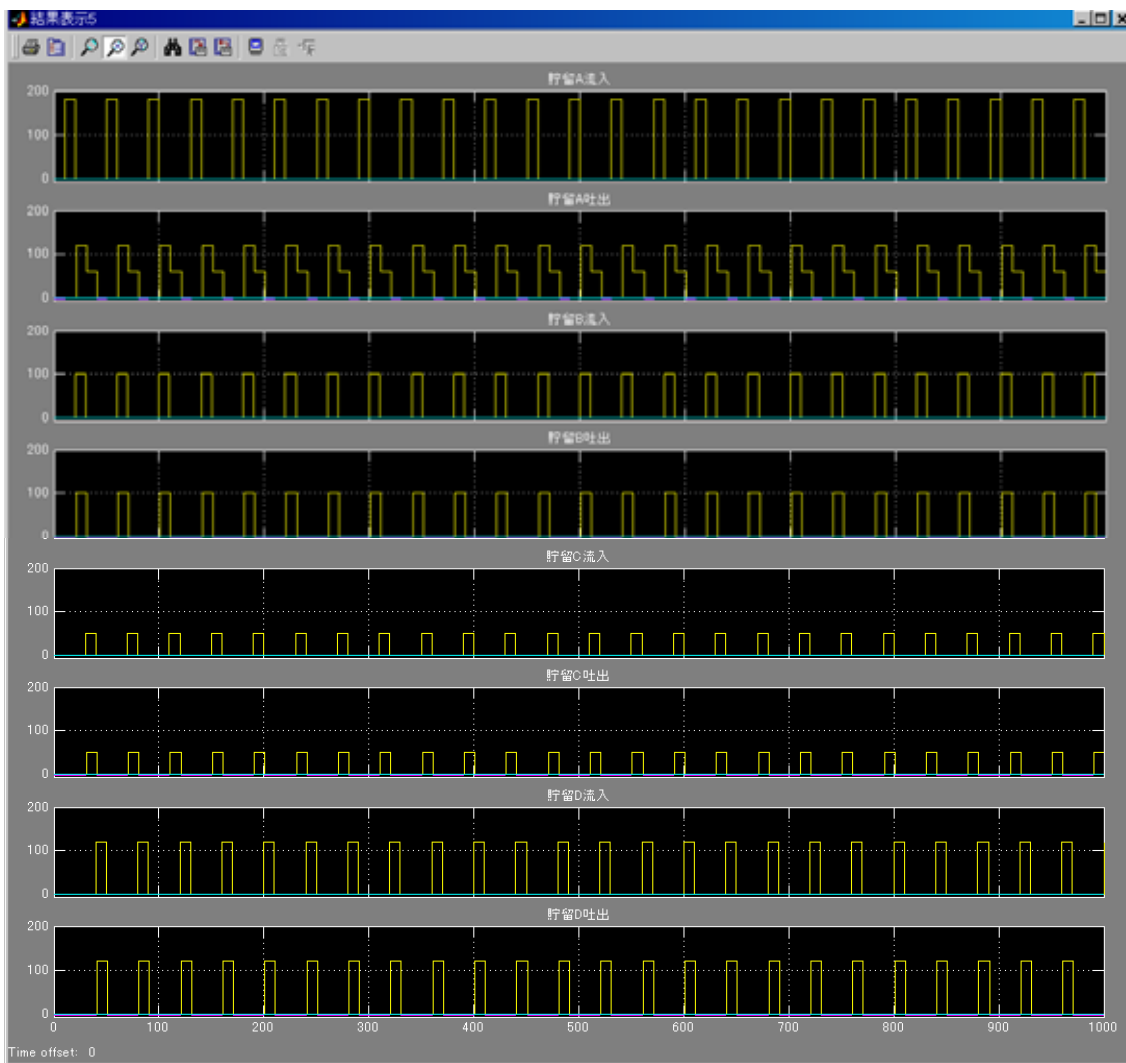


図 2.4-2 多軸スコープの表示例

3. システム特性データベースの整備

ペレットシステムとゲル化振動充填システムについて、システム間の比較評価を行うためのシステム特性データベースを整備した。昨年度は、稼働率計算用と廃棄物発生量計算用のデータベースを分けて作成したが、今年度はデータベースの一元化を図り合理的なデータベースとした。

3.1 データベース作成基準

システム特性データベースの作成基準となる、故障頻度と平均修復時間（MTTR）に関する設定とその根拠を表 3.1-1 に示した。

なお、ゲル化振動充填システムにおける溶液取扱い工程のバルブ、ポンプに関しては、昨年度の施設設計で推定された様々な故障モードにおける故障頻度と修復時間のデータ⁽¹⁾から、故障頻度を一定とした上で修復時間は合計により算出した。パソコンでシミュレーションを行う場合、部品レベルまでブレイクしている現状で既に計算時間が数時間以上に及ぶため、これ以上の接続ブロック数の増加による作業性の低下を防止する観点からの措置である。この算出過程を表 3.1-2 から表 3.1-5 に示した。

一方、廃棄物データとしては、故障頻度と平均修復時間を設定する機器設備の構成部品単位で、部品交換時の重量を与える。ただし、一部の長寿命の部品については、廃棄物化する前にも故障の発生が想定され、修復の上再利用することになると考えられるため、故障頻度データに応じて、部品重量を等分割して示す。該当する部品として、LM ガイド、真空ポンプ、ロボット類などが挙げられる（いずれも廃棄物化するまでに 10 年程度が見込まれる）。

なお、各燃料製造システムにおける機器設備の部品単位の故障頻度と重量は、各システム設計^{(2),(3)}において取得したものである（ペレットシステム施設設計⁽²⁾の表 4.2-3 およびゲル化振動充填システム施設設計⁽³⁾の表 4.2-6 参照）。

3.2 各燃料製造システムのデータベース作成

ペレットシステムとゲル化振動充填システムのそれぞれについて、50tMH/年規模および 200tHM/年規模のシステム特性データベースを作成した。

本技術資料には、作成データベースの例として、両燃料製造システムの 50tMH/年規模のときの炉心燃料とブランケット燃料のデータベースを、それぞれ表 3.2-1 と表 3.2-2 に示した。200tHM/年規模のデータベースは電子データとして提出する。

4. システム特性評価

4.1 ペレットシステム

施設設計の成果に基づき 50tHM/年規模および 200tHM/年規模のペレットシステム施設のシミュレータフロー図を作成し、図 4.1-1 から図 4.1-3 に示した。シミュレーション範囲は、原料溶液を受け入れてから燃料集合体を貯蔵庫に納めるまでとした。

50tHM/年規模施設では、ペレット加工工程において IC 燃料および OC 燃料を一つの系列で、AB 燃料と RB 燃料を別の一つの系列で製造するため、新規に作成したキャンペーン運転プログラムを適用した。また、バッチ処理装置である O/M 調整炉については、同じく新規作成したバッチ処理プログラムを適用した。キャンペーンの切り替え間隔はペレット貯蔵庫の設定容量（2 週間分）内で燃料の製造比率に従うものとし、8 日ないし 9 日で IC 燃料と OC 燃料を、あるいは AB 燃料と RB 燃料を切替える設定とした。

一方 200tHM/年規模施設に関しては、O/M 調整炉についてバッチ処理プログラムを適用しているが、ペレット加工工程では全種類の燃料がそれぞれ別の系列で並行して生産されるため、キャンペーン運転プログラムは使用していない。

これらのシミュレータフローを用いてプラント稼働率の計算を実施した。プラント稼働率の計算は、機器設備の消耗品について定期交換を行わない場合と、定期交換を行う場合について実施した。定期交換を行う場合の実施間隔は、平均故障間隔（MTBF）の 0.5 倍の間隔とした。また、ペレット搬送不良による停止（停止割合 20%）が予想される工程（成型、研削、ペレット検査）と、焼結および O/M 調整工程の前段にはバッファを設置し、プラント稼働率の低下防止策とした。さらに、3 章で作成した特性データベースに基づき、バッファ容量を 1 日とした条件について固体廃棄物の発生量の計算も行った。

基本条件におけるペレットシステムのプラント稼働率と固体廃棄物発生量の計算結果を表 4.1-1 にまとめた。

表 4.1-1 より、定期交換を行わない場合 10～30%程度と低迷するプラント稼働率は、定期交換により 97～99%と著しく上昇することが分かる。ただし、定期交換を行ったときの高稼働率は、プラント機器を構成する消耗品の故障が全て MTBF の 0.1 または 0.2 倍の標準偏差をもつ正規分布に従うと想定した結果であり、今後の構成部品の故障分布の検討を実施することによって計算結果が変わる可能性があることに注意が必要である。参考として部品故障に密度関数に対する標準偏差の影響を図 4.1-4 に示した。

一方、固体廃棄物の発生量については、定期交換を行った場合、行わなかった場合の 2 倍～2.5 倍の発生量となっている。本シミュレータでは、機器設備を構成する消耗品の故障交換または定期交換のたびに交換部品が廃棄物となることを前提としたが、一部の消耗品に関しては、故障あるいは定期交換の後も修繕して再利用することも考えられ、計算結果は保守的な値となっていることに留意が必要である。また、得られた廃棄物発生量の値は、機器設備の概略検討に基づくものであり、今後発生量削減を十分に考慮した設計を行うことにより削減することも可能と考えられる。

表 4.1-1 ペレットシステムのプラント稼働率および固体廃棄物発生量

	プラント規模	処理燃料または 廃棄物区分	定期交換なし	定期交換あり*
プラント稼働率	50 トン	炉心	8.8%	98.5%
		ブランケット	24.4%	99.0%
	200 トン	炉心	9.4%	97.1%
		ブランケット	31.1%	99.0%
固体廃棄物 発生量	50 トン	TRU	2.8 トン/年	6.1 トン/年
		低レベル	4.0 トン/年	8.4 トン/年
	200 トン	TRU	6.6 トン/年	14.4 トン/年
		低レベル	10.5 トン/年	22.2 トン/年
備考	*定期交換は消耗品ごとに MTBF の 0.5 倍間隔で実施するとした。			

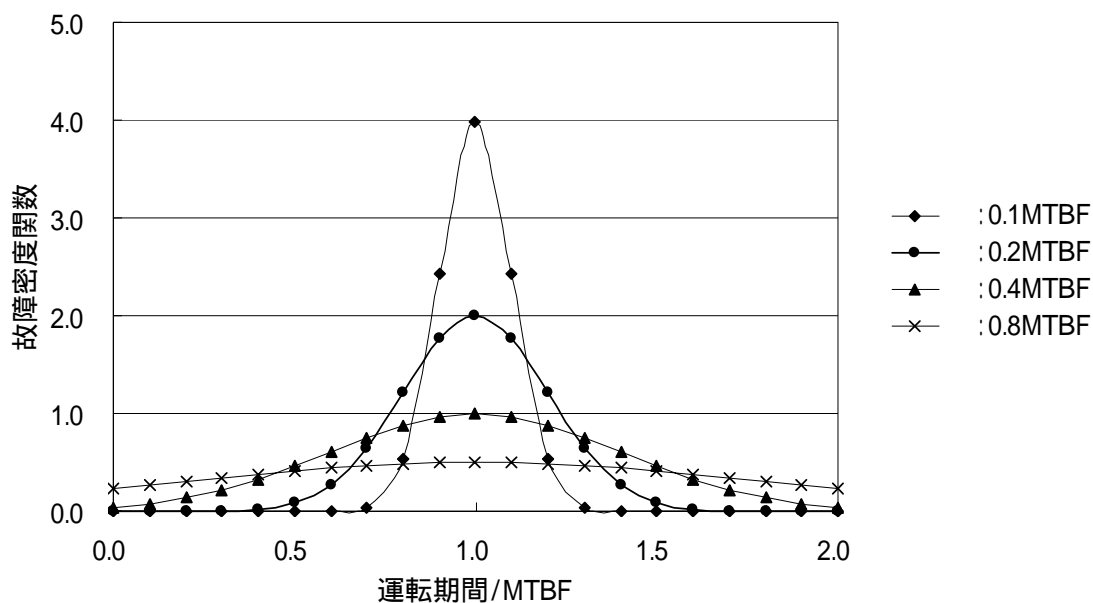


図 4.1-4 標準偏差 と故障密度関数の関係

4.2 同一セル内機器全停止の影響調査

今年度の改良項目である機器停止範囲の選択機能を用い、工程セルでいずれかの機器設備で故障が発生した場合、同一セル内にある全ての機器設備を停止させなくてはならないとしたときのプラント稼働率への影響について、200tHM/年規模施設の例で調査した。

本検討のために図 4.2-1 に示すシミュレータフロー図を作成した。

シミュレータフローでは、施設設計の通り脱硝転換工程の前後、ペレット加工工程の前後、燃料要素組立工程の前後、燃料要素検査工程の前後および燃料集合体組立検査工程の前後にセル開始ブロックおよびセル終了ブロックを挿入した。

計算条件は全節の表 4.1-1 のプラント規模：200tHM/年、処理燃料：炉心燃料のときの定期交換ありのケースと同じであり、計算結果は 47.8%となった。同一セル内機器全停止がないときの 97.1%と比較すると稼働率は半減しているが、この理由は成型、研削およびペレット検査工程でそれぞれペレット搬送不良により 20%の稼働率低下を想定しており、いずれも同一セルに存在するため、稼働率の上限が 80%の稼働率の 3 乗、即ち 51.2%となることによる。つまり、同一セル内の機器が全て故障する条件では、バッファの効果が全く得られなくなることに留意しなくてはならない。

4.3 バッファ容量の最適化調査

50tHM/年規模施設および200tHM/年規模施設について4.1節で作成したシミュレータフローを用いて、バッファ容量をパラメータとしたプラント稼働率の計算を行った。

計算結果について表4.3-1にまとめるとともに、グラフ化して図4.3-1に示した。また、各バッファの貯留量の経時変化グラフをIC燃料用の例について、バッファ容量3時間分のときのものを図4.3-2に、24時間分のときのものを図4.3-3に示した。図4.3-2、図4.3-3のグラフは、上から成型工程前段、焼結工程前段、O/M調整工程前段、研削工程前段、ペレット検査工程前段のバッファ貯留量を示している。図4.3-2、図4.3-3で周期的な値を示す理由は、IC燃料とOC燃料のキャンペーン運転を行っているために主にIC燃料の処理を行っているときに貯留量が増加するためである。

プラント稼働率は50tHM/年規模、200tHM/年規模に係らず、また、炉心燃料製造系列、ブランケット燃料製造系列に係らず全く同様な傾向を示した。いずれもバッファがない場合の75%程度の稼働率が3時間分のバッファ容量で急速に改善し、24時間分のバッファ容量で97~99%の高い値となった。

従来のシミュレータであれば、バッファなしの条件ではセル内機器全停止のときと同様にペレット搬送不良の設定により成型、研削およびペレット検査工程で上限稼働率が80%となり、80%の3乗、即ち51.2%がプラント稼働率の上限となる。しかし、研削およびペレット検査工程よりも上流側にあるO/M調整炉がバッチ処理装置であるため、工程自体が最大、バッチ処理時間(1日)分のバッファを不可欠としており、研削、ペレット検査両工程の上限稼働率64%(80%の2乗)までの低下を防ぐ結果となっている。このため、ペレット搬送不良による稼働率低下は、主に成型工程によるものであり、計算結果は75%程度の稼働率となっている。

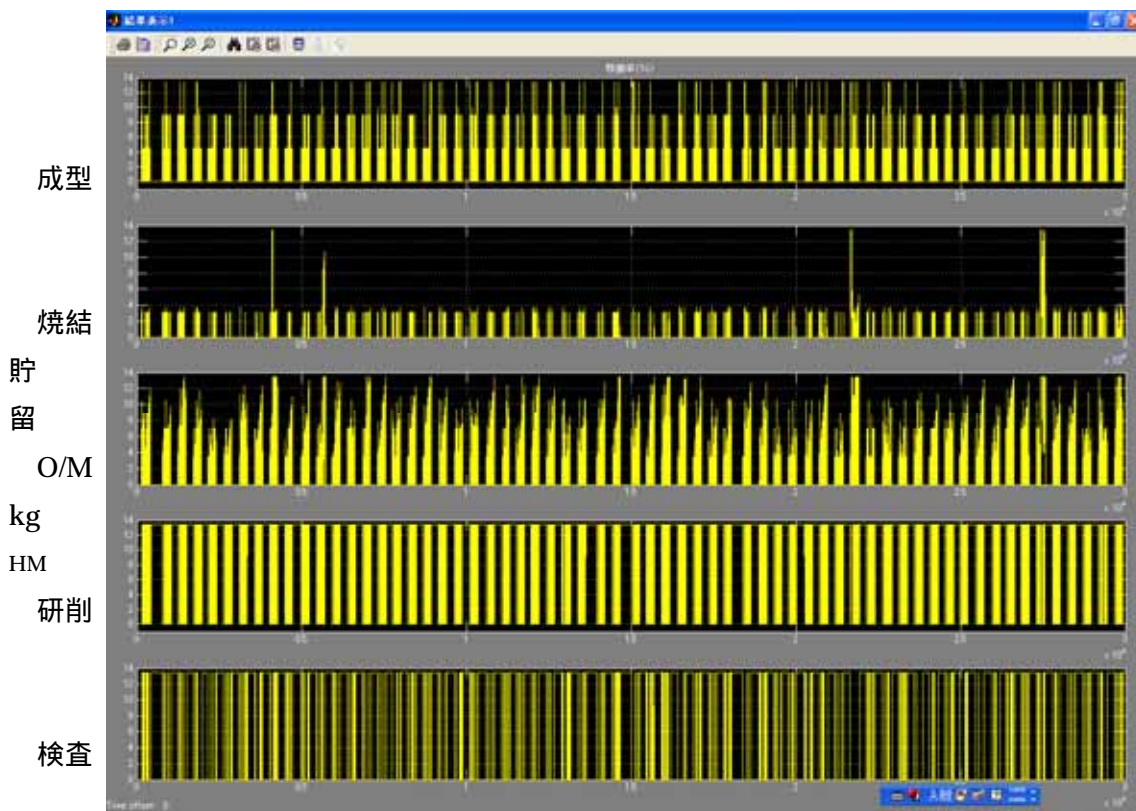
また、ペレット搬送不良は特性データベース上、平均修復時間(MTTR)を1時間とし5時間ごとに1回発生するとしている。一方、機器部品の故障によるプラント停止は定期交換により著しく低減しているため、プラント稼働率の低下要因の主体がペレット搬送不良となっており、その平均修復時間である1時間より大きいバッファ容量があれば、稼働率は顕著に改善されることになる。

なお、バッファ容量が3時間と24時間のときの稼働率計算上の差は小さいものの、図4.3-2と図4.3-3を比較すると当然3時間のときの貯留率が高くなっていることが分かる。特に研削行程前段のバッファ貯留が24時間のときと比較して3時間のときに頻繁に満杯状態に達していることが分かる。

本計算における設定のように消耗品の定期交換により機器故障の殆どが防止できるとすれば、最適なバッファ容量は、ペレット搬送不良による平均修復時間より多少大き目のサイズとなる。計算ではシミュレーションの1回を1時間と設定しているため、最短MTTRが1時間となり3時間分程度のバッファ稼働率が適正となるが、ペレット搬送不良、即ちペレットの転倒、落下などに対する対応がより迅速化できるのであれば、より少なめの容量のバッファでも十分な効果を得ることができる。

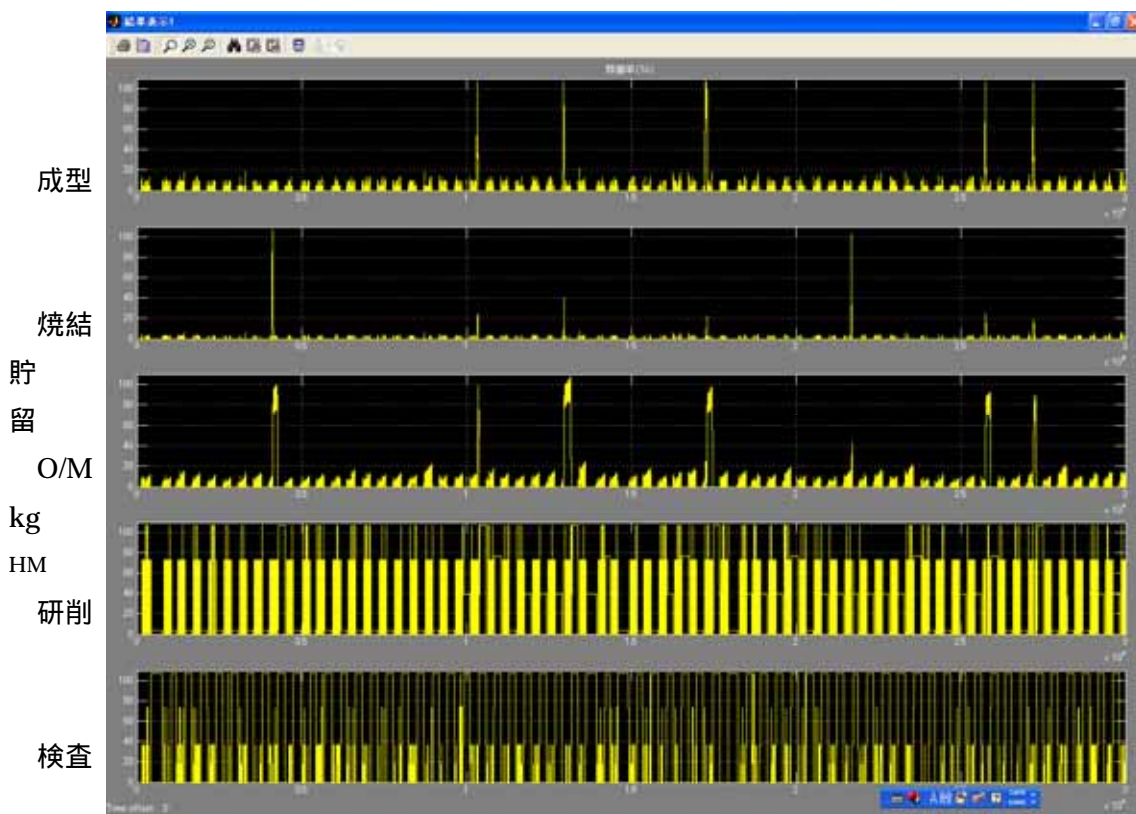
ただし、今回の前提のように定期交換により十分な稼働率改善が得られない可能性もあることを考慮すると、一般的なユニット交換(本検討では1日を想定している)を完了す

るのに必要な容量のバッファを、比較的故障が発生し易いと考えられる工程前段に設けることが望ましい。



経過時間 / hr (シミュレーション回数)

図 4.3-2 各バッファ貯留量の経時変化 (バッファ容量 3h 分)



経過時間 / hr (シミュレーション回数)

図 4.3-3 各バッファ貯留量の経時変化 (バッファ容量 24h 分)

4.4 平均修復時間 (MTTR) の影響調査

最も故障発生回数が多く延べ停止時間も長くなる機器設備について、平均修復時間 (MTTR) の設定がプラント稼働率に与える影響を調査した。まず、主工程の機器設備ごとの年間の故障発生回数と延べ停止時間を表 3.2-1 のペレットシステム特性データベースに基づいて集計し、表 4.4-1 にまとめた。

表には定期交換を行わない場合と定期交換を行う場合の集計結果を示しているが、集計値には故障停止中の新規故障発生の控除を考慮していないので、定期交換を行わないときの上位機器の延べ停止時間は年間運転時間 (250 日として 6000 時間) を越えていることに言及しておく。

故障発生回数が多く停止確率が高くなる機器としては、上位から燃料集合体組立装置、燃料要素組立設備、ワイヤ巻付装置があげられ、これに故障発生回数は比較的少ないものの平均修復時間 (MTTR) が長めになる焼結炉および O/M 調整炉が続いている。

本集計で最も故障による停止確率が高くなる燃料集合体組立装置について、平均修復時間 (MTTR) をパラメータとした計算を、50tHM/y 規模施設のシミュレータフローを使って実施した。燃料集合体組立装置の保守は全てユニット交換を前提とし 24 時間の MTTR を設定しているため、この停止時間が 48 時間、96 時間、480 時間と長くなったときのプラント稼働率を計算した。これらの平均修復時間 (MTTR) における稼働率の変化を表 4.4-2 にまとめるとともにグラフを図 4.4-1 に示した。

表 4.4-2 より炉心燃料系列では、MTTR が基本条件の 2 倍の 48 時間程度に延長する分には稼働率の低下は認められないが、さらなる時間の延長とともに徐々に稼働率の低下が現れてくる。一方、ブランケット燃料系列では、480 時間まで顕著な稼働率上の影響は認められなかった。ブランケット燃料系列における微妙な値の増減は、シミュレーションの収束が不十分であることが原因として考えられる。

炉心燃料系列も含め急激な稼働率低下が起こらない理由としては、定期交換により故障の発生頻度が非常に少なくなる設定となっていること、燃料集合体組立工程の前段には燃料要素貯蔵庫がありバッファの役割を果たしていることがあげられる。また、ブランケット燃料系列では径方向ブランケット燃料の処理体数が少ないために、設備能力上の余裕が大きく MTTR の変化の影響を著しく受けにくくなっていることもあげられる。

なお、定期交換の効果が今回の設定ほど得られなかった場合、特に炉心燃料系列の稼働率の低下割合は拡大されることに留意が必要である。

4.5 ゲル化振動充填システム

施設設計の成果に基づき 50tHM/年規模および 200tHM/年規模のゲル化振動充填システム施設のシミュレータフロー図を作成し、図 4.5-1 から図 4.5-4 に示した。シミュレーション範囲は、原料溶液を受け入れてから燃料集合体を貯蔵庫に納めるまでとした。

作成したシミュレータフローを用いて、4.1 節のペレットシステムのときと同様にプラント稼働率の計算を実施した。プラント稼働率の計算は、機器設備の消耗品について定期交換を行わない場合と、定期交換を行う場合について実施した。定期交換を行う場合の実施間隔は、平均故障間隔 (MTBF) の 0.5 倍とした。また、ペレットシステムに習い、焼結および O/M 調整工程の前段に 1 日分容量のバッファを設置した。このほか 3 章で作成した特性データベースに基づき、固体廃棄物の発生量の計算も行った。

基本条件におけるゲル化振動充填システムのプラント稼働率と固体廃棄物発生量の計算結果を表 4.5-1 にまとめた。

表 4.5-1 より、50tHM/年規模、200tHM/年規模に共通して、定期交換を行わないときに炉心燃料系列で 1~2%、ブランケット燃料系列でも ~30%程度と低迷するプラント稼働率が、定期交換により 96%~99%以上と著しく上昇することが分かる。

定期交換を行わないときに炉心燃料系列とブランケット燃料系列で大きく差が開いた理由は、故障発生確率が高いと考えられる振動充填・端栓溶接装置において、ブランケット燃料系列で顆粒供給、振動充填、スパーサ挿入の操作が 1 サイクルで済むのに対して、炉心燃料系列では 3 サイクル繰り返す必要があり、機器単体の稼働率が低下したことが原因であると考えられる。また、同じブランケット燃料系列でも 50tHM/年規模と 200tHM/年規模で差が開いた理由は、前者が 1 系列で処理するのに対し後者は 2 系列で 4 倍量の処理を行うため単機当りの負荷が異なるためと考えられる。表 4.5-2 に、ゲル化振動充填システムの特性データベースに基づき、主工程の機器設備ごとに年間の故障発生回数と延べ停止時間を集計した結果を示した。

なお、定期交換を行ったときの高稼働率は、ペレットシステムと同一基準に従い、プラント機器を構成する消耗品の故障が全て MTBF の 0.1 または 0.2 倍の標準偏差をもつ正規分布に従うと想定した結果である。従って、今後の部品の故障分布を検討、見直しすることによって、計算結果は変わり得ることに注意が必要である。

固体廃棄物の発生量については、いずれの条件においても TRU 廃棄物の発生量が多くなる結果となった。また、定期交換を行った場合、行わなかった場合の 2 倍~2.5 倍の発生量となった。TRU 廃棄物が多くなる理由の筆頭にあげられるのは、振動充填・端栓溶接装置が非常に多くの機械部品から構成され消耗品が多いことと、同装置単機当りの処理能力が低めであり必要装置数が多いことである。

なお、本シミュレータでは、機器設備を構成する消耗品の故障交換または定期交換のたびに交換部品が廃棄物となることを前提としたが、一部の消耗品に関しては、故障あるいは定期交換の後も修繕して再利用することも考えられ、計算結果は保守的な値となっていることに言及しておく。

表 4.5-1 ゲル化振動充填システムのプラント稼働率および固体廃棄物発生量

	プラント規模	処理燃料または 廃棄物区分	定期交換なし	定期交換あり*
プラント稼働率	50 トン	炉心共通	1.2%	99.0%
		ブランケット	28.7%	99.4%
	200 トン	IC	1.8%	96.0%
		OC	2.0%	99.3%
		ブランケット	6.7%	99.3%
固体廃棄物 発生量	50 トン	TRU	16.4 トン/年	34.2 トン/年
		低レベル	5.5 トン/年	11.6 トン/年
	200 トン	TRU	48.7 トン/年	100.6 トン/年
		低レベル	17.7 トン/年	37.2 トン/年
備考	*定期交換は消耗品ごとに MTBF の 0.5 倍間隔で実施するとした。			

4.6 システム特性の比較検討

4.1節および4.5節での検討結果に基づき、ペレットシステムとゲル化振動充填システムについてシステム特性の比較を行った。比較項目はプラント稼働率を指標とするシステム安定性と、固体廃棄物発生量を指標とする環境負荷低減性とする。

(1) システム安定性

ペレットシステムとゲル化振動充填システムのプラント稼働率を、50tHM/年規模と200tHM/年規模とに分けて図4.6-1および図4.6-2に示した。

50tHM/年規模と200tHM/年規模の全体に共通して、消耗品の定期交換がない場合のプラント稼働率は低く、定期交換を行うと高稼働率が得られる結果となっていることは既に述べてきたとおりである。

条件を個々にみてゆくと、50tHM/年規模のとき定期交換がない場合、炉心燃料製造系列ではペレットシステムの方が稼働率が高く、ブランク燃料製造系列ではゲル化の方が高い稼働率となっている。これは、ゲル化振動充填システムの機器設備全体の煩雑さが両系列で逆転しているためと考えられ、逆転の理由は振動充填・端栓溶接装置のステージ数が炉心燃料製造系列側が非常に多く、煩雑さに大きな差があるためと考えられる。炉心系列、ブランク燃料製造系列の両方をもつ燃料製造施設全体の安定操業を考えると、1%台という極端に低い稼働率がなかったペレットシステムの方が安定であると言える。

これが定期交換を行うことにより、軒並み90%台後半の高稼働率が得られる結果となった。この高稼働率について僅かな差まで議論すると、炉心燃料製造系列、ブランク燃料製造系列ともに僅かながらゲル化振動充填システムの稼働率が高くなっている。この理由は、稼働率計算において機器故障の発生が部品の定期交換で殆ど回避された結果、バッファの設置でその影響が抑制されている成型、研削、ペレット検査工程のペレット搬送不良停止(20%を見込んだ)の影響が浮き彫りとなったためと考えられる。

今回の計算で高稼働率が得られたが、仮に消耗品の故障発生の分布が広くばらつくようになると、定期交換の効果は今回の計算ほど得られないことになり、両システムともプラント稼働率を下げながら、徐々に定期交換がない場合の傾向に近づくことになると考えられる。

200tHM/年規模のときにも基本的には全く同様なことが言えると考えられる。ただし、50tHM/年規模と多少異なる傾向としては、例外があるものの、定期交換なしブランク燃料製造系列のゲル化振動充填側に顕著に現れているようにプラント稼働率が低くなる。これは、プラント規模に係らず概ね同等処理能力を有する機器設備を使った設計とした結果、小規模施設で処理能力に大きな尤度のある機器設備が、大規模施設に適用されたときに少なめの機器数で処理能力の尤度を減らして製造することによる。つまり機器設備上のスケールメリットを活用した結果、処理能力上の尤度が小さくなるので稼働率が低くなる傾向がある。

定期交換ありの炉心燃料製造系列の両システムの稼働率が低めになっていることも同

じ理由によると考えられる。

逆に稼働率が高くなったものに、定期交換なしのブランケット燃料製造系列のペレットシステムがあがるが、このケースでは燃料要素組立検査および燃料集合体組立検査が、50tHM/年規模では炉心およびブランケットの共用であるのに対し、200tHM/年規模ではブランケット専用系列となったためであると考えられる。

なお、昨年度の調査⁽⁴⁾において、200tHM/年規模施設におけるプラント稼働率の予備的計算を行っている。昨年度の計算結果をまとめると定期交換ありの同等条件下では、ペレットシステムの炉心燃料製造系列で92.9%、ブランケット燃料製造系列では94.6%で、ゲル化振動充填システムでは、内側炉心燃料製造系列で90.9%、外側炉心燃料製造系列で85.8%、ブランケット燃料製造系列では90.8%となっており、今年度の結果より低めの稼働率である。また、ブランケット系列の稼働率が高めになることを除けば相対関係も一致しない。

この結果の違いはデータベースに原因があり、昨年度は予め定期交換の効果まで入れたユニットごとの故障発生データに基づいており、さらにユニットを構成する部品にまでブレイクしている今年度のデータベースと異なる。また、データの取得基準もシステム間で一貫していなかった。

(2) 環境負荷低減性

ペレットシステムとゲル化振動充填システムの固体廃棄物発生量を、計算条件ごとに比較できるように図4.6-3に示した。

図より明らかなように、施設規模、定期交換の有無に係らずゲル化振動充填システムの発生量は、ペレットシステムの3~4倍と非常に多くなっている。特にTRU廃棄物に区分されると考えられる廃棄物の発生量が6~7倍にまで多くなっている。

この原因は、明らかに顆粒製造工程から燃料要素組立工程までの製造系列数および機器数が、ペレットシステムの同等工程と比較して多くなっているためと考えられる。ゲル化振動充填システムで系列数が増えるのは、IC燃料、OC燃料およびブランケット燃料に対してそれぞれ、大粒子と小粒子を造り分ける必要があり別系列を設置する必要があることが理由である。また、同様に機器数が増える理由としては、機器設備設計の結果、振動充填・端栓溶接装置の単機処理能力が十分高くできなかったこと、焼結炉およびO/M調整炉で顆粒同士の固着を防止する観点からポート内への燃料充填量を減らしたため、炉数を増やさざるを得なかったことが挙げられる。

このように固体廃棄物に着目する限り、ペレットシステムの方がゲル化振動充填システムよりも環境負荷低減性が高いといえることができる。このほか、廃棄物には液体廃棄物なども存在し廃棄物全体で見た比較も必要であるが、プロセスの観点からはゲル球を製造するために様々な試薬溶液が必要であり、やはりペレットシステムの方が優れるといえることができる。

なお、特性シミュレータで計算した廃棄物発生量は、あくまで併行して実施してきたペレットシステムおよびゲル化振動充填システムの概略的な機器設備に基づくものであ

り、相対的な比較には十分耐えうるものと考えるが、発生量の絶対値に関しては慎重に扱う必要がある。今後、廃棄物発生量の低減を十分に考慮した機器設備に関する詳細な設計を実施し、より精度の高い廃棄物発生量の評価を行う必要がある。

参考までに、昨年度の調査⁽⁴⁾での試算結果について言及すると、200tHM/年規模のペレットシステムで年間約 18 トン、ゲル化振動充填システムで約 14 トンであった。この数字には定期交換による廃棄物量の増加は考慮していない。

一方、今年度はペレットで定期交換なしの場合約 17 トンで大きな変化はなかったが、ゲル化振動充填システムでは約 66 トンにまで増大している。昨年度の試算結果が著しく少ない理由は機器設計が十分に行われていなかったこと、顆粒製造工程と振動充填以降の工程を合体した燃料製造施設全体のライン設計がなされていなかったこと、さらに廃棄物として 5 年、10 年単位で発生すると考えられる重量物を殆ど考慮していなかったことが考えられる。

4.7 システム特性評価上の課題

昨年度の検討⁽⁴⁾で以下の課題があがっている。

システム特性シミュレータの課題

データベースの一元化に関する課題

取得データに関する課題

このうち について、今年度のシミュレータの改良で、小規模施設や射出鑄造システムに対応するためのキャンペーン運転のシミュレーションが可能になった。また、今回は活用に至らなかったが、1系列でキャンペーン運転を行う条件ではキャンペーンごとに個別の燃料貯蔵庫に貯留された燃料を一定比率で下流に払出す機能も追加した（炉心燃料と軸方向ブランケット燃料の各貯蔵庫から燃料要素を製造する状況を想定）。また、バッチ処理装置への対応やマテリアルフローの経時変化表示機能の追加を行った。

に関連して残された課題としては、難易度は高くなるが例えば 2 つの個別の系列で製造・貯留された燃料を一定比率で下流に流す機能の実現があげられる。具体的には、例えばペレットシステムで、炉心燃料系列とブランケット燃料系列で個別に製造されたペレットから燃料要素を製造するようなシミュレーションを、より高度に模擬することが考えられる。今年度の検討では、ペレット貯蔵庫に炉心燃料または軸方向ブランケット燃料のどちらかがあれば燃料要素の製造が可能になっており、実際より高めの稼働率が得られる可能性がある。

および の課題については、昨年度時点で平均的なパソコンを使用して特性シミュレータを動作させた結果、データ数が多くなるとブロックフローの編集が困難になったり、計算に長時間を要したりしたため、稼働率計算用のデータベースと廃棄物計算用のデータベースを分割せざるを得なかった。また、取得データ単位を昨年度は機器設備のユニット程度のレベルまでブレイクするに留める必要があった。

これに対して今年度は CPU 速度を 3GHz、メモリ 1GB～3GB 程度のパソコンを導入して計算を行った結果、数千以上のデータを扱うことが十分可能になり、データベースを一元化するとともに、データの取得基準をユニットを構成する部品レベルまでブレイクすることに成功した。

さらに について、ペレットシステムとゲル化振動充填システムの機器設備および施設設計基準を一致させることにより、データの取得基準を可能な限り同等にしシステム間の公正な比較を可能にした。ただし、昨年度の検討で比較対象とした乾式再処理対応の振動充填システムおよび射出鑄造システムについて、同等基準に基づくデータベース取得の見通しが得られず今後の課題として残されている。

また、今年度の調査の結果新たに生じた課題としては、部品ごとの故障発生が正規分布に従うとしたときの標準偏差値（定期交換パラメータの一つ）について、今後ある程度検討することがあげられる。その理由は今年度のプラント稼働率の計算結果が、定期交換時に非常に高い値になったことにあり、今年度は平均故障間隔（MTBF）の 0.1 ないし 0.2 倍の標準偏差を与えた結果である。これに対して、構成部品の中に故障発生が長い期間に渡ってばらつく（標準偏差がより大きくなる）ものもある可能性があり、今後、部品ごとの故障分布を見極める必要があると考えられる。

5．おわりに

昨年度までに、機器や構成ユニットの故障頻度、定期交換情報を入力することで、プラント稼働率と廃棄物発生量の計算を行う特性シミュレータを開発し、この応用による燃料製造システム間の予備的な特性比較を行った。この結果、稼働率に代表されるシステム安定性と廃棄物発生量に代表される環境負荷低減性について議論することが可能になったが、同時にシステム特性評価上の課題が明らかになった。

今年度は、特性シミュレータに関して、キャンペーン運転やバッチ処理装置に対応するためのプログラムの改良を行い、より施設設計の成果を正確に反映し定量性の良い計算が可能となるようにした。また、昨年度明らかにした特性評価上の課題を受け、システム特性データに一定の取得基準を設け燃料製造システム設計を行い、システム間の比較を前提としたデータベースを作成した。

改良特性シミュレータにより、ペレットシステムとゲル化振動充填システムの比較を行った結果、条件によってプラント稼働率の高低が逆転するものの、定期交換の効果が絶対的なものでない限りペレットシステムの方がシステム安定性が高くなるものと考えられた。また、固体廃棄物発生量は明らかにゲル化振動充填システムの方が多くなり、ペレットシステムの方が優れる結果となった。

このほか、定期交換の効果をより明確にするために構成部品ごとの故障分布の検討や、今回比較対象とならなかった乾式振動充填システムや射出鑄造システムのデータベース取得、あるいは、より高度な設計模擬を目的としたさらなる特性シミュレータの改良などが、今後の課題としてあがった。

6 . 参考文献

- (1) 谷本亮二、菊池俊明ほか、“ゲル化顆粒燃料製造設備構成の調査”、JNC TJ9420 2004-001 (2004)
- (2) 前川一彦、吉村忠宏ほか、“低除染ペレット燃料製造施設構成の合理化に関する調査”、JNC TJ9420 2005-002 (2005)
- (3) 前川一彦、吉村忠宏ほか、“ゲル化振動充填燃料小規模製造施設の調査”、JNC TJ9420 2005-004 (2005)
- (4) 谷本亮二、吉村忠宏ほか、“低除染燃料製造システム特性評価手法に関する調査(3)”、JNC TJ9420 2004-003 (2004)

H16 年度版システム特性シミュレータ マニュアル

1. 改良プログラムの使用方法

ここでは今年度改良したシステム特性シミュレータの改良プログラムファイルの使用方法を述べます。使用環境として MATLAB R13 または R13(SP1), Simulink 5.1 および Excellink 2.1 がインストールされた Windows XP, 2000 等のパソコンがあることを前提とします。1GHz 程度の CPU および 256MB のメモリ環境でも動作しますが、5000 程度のブロック接続を行う場合 3GHz 程度の CPU および 1GB 以上のメモリ環境があることが望ましくなります。

- ① システム特性シミュレータ改良プログラム CD 内の "work" フォルダ内の全てのファイルを、
¥C¥MATLAB6p5p1¥work にコピーします。
- ② "tool" フォルダ内の startup.m ファイルを ¥C ¥MATLAB6p5p1¥toolbox¥local にコピーします。

上記①、②の時に既に同じ名称のファイルが存在した場合は上書きします。ただし、以前の作業ファイルが "work" フォルダ内に存在した場合、①の前に全てのファイルを退避またはバックアップしておくことを推奨します。

2. 計算の流れの概略

プラント稼働率の計算および廃棄物量の計算の概略の流れは次の通りです。

- ① MATLAB を起動しモデルファイルを開きます。
- ② ブロックフローを作成します。
- ③ 各ブロックに名前等データを入力します。
- ④ Excel テンプレートファイルを開きます。
- ⑤ Excel テンプレートファイルにモデルファイル情報(ブロックフローへの入力情報)を読み込みます。
- ⑥ Excel テンプレートファイルに運転・交換補正用データを入力し各補正計算を行います。
- ⑦ さらに同じファイルにて重量等データを入力し廃棄物量を計算します。
- ⑧ MATLAB 読み込み用ファイルを書き出します。
- ⑨ MATLAB 側から Excel 書き出しファイルを読み込みます。
- ⑩ MATLAB にてプラント稼働率計算を行います。

3. ブロックフローの作成およびシミュレーションデータの補正手順

- ① MATLAB を起動し、"work" フォルダ内にあるモデルファイル(例えば F_Model_Template.mdl)を開きます。¥C¥MATLAB6p5p1¥work からモデルファイルをダブルクリックしても開くことができます。
- ② MATLAB のモデルファイル上で階層化したブロック(装置)を作成して、ブロックに装置名称を

手入力します。この時 MTTR、稼働率も入力しておくことも可能です。

- ③ MATLAB のボタンウインドウ上の『セーブ』ボタンを押すと、モデルファイルと同じディレクトリに拡張子が.mbk(MATLAB のブロック情報書き出し用ファイル)のファイルが作成されます。
- ④ Excel ファイル『運転・交換補正画面_Template.2005』を開くと、前回実行したモデルファイル名を読み込むダイアログが表示されますが、データ交換を行いたいモデルファイルを一度も実行していなければ、これはキャンセルします。
- ⑤ ブロック名称欄にデータ交換を行いたいモデルファイル名称(拡張子は除く)を記入し、『ブロック名読み込み』『パラメータ名読み込み』を順次実行して、mbk ファイルの情報を Excel に書き出します。この時、MTBF など未入力欄がある場合、エラーメッセージが出ますが『OK』を押して先に進めます。
- ⑥ Excel の C 列(MTBF)、D 列(MTTR)は補正前の基準データ欄であるため、補正前と補正後の MATLAB 情報の混同が起こらないよう、情報交換操作でこの欄にデータが取り込まれることはありません。MATLAB からの情報のうち、稼働率・MTTR については BG・GH 列(MATLAB 現在設定稼働率)に取り込まれます。
- ⑦ 各ブロックのデータ(MTBF、MTTR)を Excel に記載します。もしくは BG・GH 列欄の情報をコピーします。(MTBF、MTTR をブロックフローで入力した場合)
- ⑧ W 列～AD 列までの運転特性補正パラメータを入力し、『運転特性全計算』により計算を行います。
- ⑨ AQ 列～AS 列までの定期交換補正パラメータを入力し、『定期交換全計算』により計算を行います。
- ⑩ MATLAB に書き出したい情報が補正前のデータ(D 列、E 列)であるなら、BJ 列に“1”を入力します。同様に運転特性補正後のデータ(AL 列、AM 列)であるなら、BJ 列に“2”を入力、定期交換補正後のデータ(AW 列、AX 列)であるなら、BJ 列に“3”を入力します。この時 BJ 列はシートの保護により選択・記載が出来ないため、事前に『設定』⇒『保護解除』ボタンによりシートの保護を解除しておきます。
- ⑪ 『書き出し』ボタンを押すと、モデルファイルと同じディレクトリに拡張子が.blk(Excel のブロック情報書き出し用ファイル)のファイルが作成されます。
- ⑫ MATLAB のボタンウインドウ上の『オープン』ボタンを押すと、Excel で編集したデータを読みこむかどうかを問い合わせるダイアログボックスが開きますので、『OK』をおして、blkファイルの情報を各ブロックに読み込みます。ブロック数が膨大(4000 個以上)な場合は、読み込みに 2 時間以上の時間を要します。この時、Windows XP のタスクマネージャでは MATLAB“応答なし”と表示されますが、正常なデータ交換でも表示されます。
- ⑬ データ交換が上手く行かない時の原因として、MATLAB 側の装置名称と Excel 側の装置名称が完全に一意していないことが多いので注意します。特にどちらかの名称の途中で改行した場合やスペースが入った場合、両者間の名称は一見同一に見えますが、ソフトのデータ交換上は同一とみなされません。可能な限り名称の途中で改行は避けてください。

4. シミュレーション

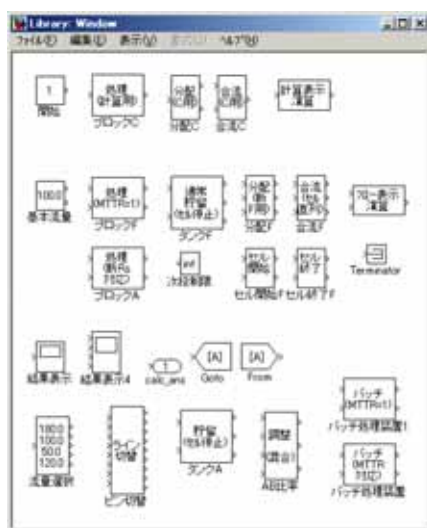
- ① 廃棄物量の計算は、3. の⑨の動作で完了しています。ただし、『定期交換全計算』前に Excel ファイルの『設定』ボタンを押して『運転期間』を設定しておく必要があります。
- ② 各ブロックに正しい情報が設定され、ブロックフローの作成が完了しましたら安全のため取りあえず保存します。その後、ボタンウインドウ上の『乱数設定』ボタンを押して、処理ブロック数に応じた乱数の設定と、シミュレーション回数の入力を行います。
- ③ モデルウインドウ上の三角ボタンによりシミュレーションを実行すると、シミュレーションが開始します。シミュレータはこの後、各処理ブロックへの乱数の割り当て(数秒で終了)と、各ブロック情報のチェック作業を行います。ブロック数が多い(4000 個以上)場合は、シミュレーションがスタートするまでに 30 分程度の時間を要します。この間パソコンは応答できませんので、可能な動作としては必要に応じた MATLAB の強制終了 (Ctrl+Alt+Delete)しかできません。

5. 新規追加機能の説明

(1) ウィンドウの説明

(a) ライブラリウインドウ

ライブラリウインドウに、「流量選択」「ライン切替」「調整(混合)」「バッチ処理装置」「セル開始」「セル終了」が新たに追加されました。また、「基本流量」「貯留(セル停止)」は、『バッチ処理』や『セル停止』および『キャンペーン運転』のシミュレーションモデルに対応するため、改修が施されています。



(b) ボタンウィンドウ

本改修によりボタンウィンドウに従来あった『実行』ボタンは、『設定』ボタンに機能変更されました。「設定」ボタンにより、ボタンウィンドウの「カレントモデル」に名前が設定されたモデルウィンドウに対してシミュレーションの開始に必要な初期化処理を行います。

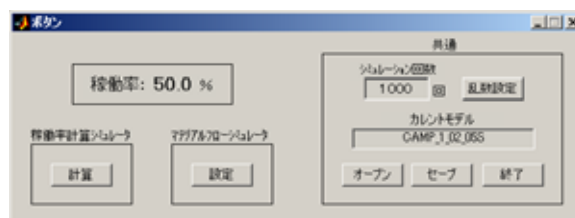
モデルの作成および編集後、このボタンウィンドウの「設定」ボタンをクリックしてください。モデル名と処理ブロック数をチェックした後、シミュレーションの実行に必要なコールバック関数がシミュレーションモデルのモデルプロパティに設定されます。

その上で、モデルウィンドウ上の黒い三角ボタン(シミュレーション開始ボタン)をクリックして、シミュレーションを開始してください。

初期化処理が実行されていないと稼働率の表示が更新されない等、正常に動作しません。また、ライブラリウィンドウからのリンクが解除されていないと実行時エラーとなります。この場合「セーブ」ボタンをクリックしてください。「カレントモデル」名のモデルをライブラリウィンドウからのリンクを解除して保存します。

モデルをセーブした場合は、コールバック関数の設定も同時にセーブされます。テンプレートモデル(F_Model_Template.mdl)を元にモデルを作成した場合は、すでに必要なコールバック関数が設定されていますが、処理ブロック数のチェックが必要な場合は「設定」ボタンをクリックしてください。

「オープン」ボタンをクリックすると、モデル名をチェック後、現在アクティブなモデルウィンドウをリンクを解除して保存し、クローズします。その後、「カレントモデル」名のモデルをオープンします。このとき Excel で編集したデータを読み込むことができます。

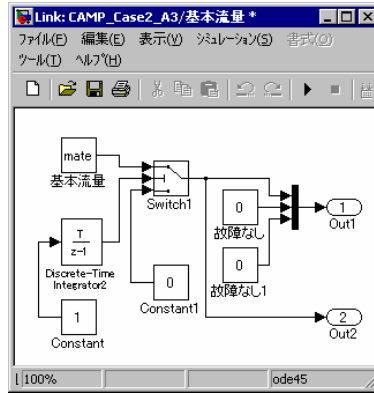


(2) ブロックの説明

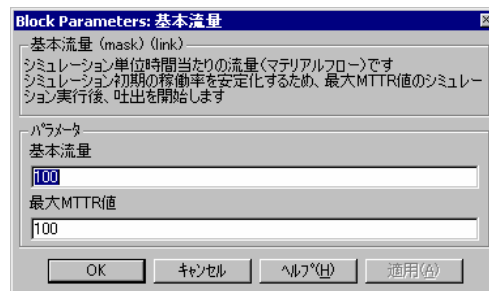
(a) 基本流量

「基本流量」ブロックは、モデル内の最初のブロックです。稼働率シミュレーションに必要な「1シミュレーション回数あたりの材料の吐出量」を設定すると共に、シミュレーション初期の稼働率を安定して算出させるための「吐出停止シミュレーション回数」を設定します。

「Out1」は、シミュレーションモデルで評価するブロックの「入力」へと接続します。また「Out2」はシミュレーションモデル全体の稼働率をグラフ化するための「フロー表示演算」ブロックの「In1」に接続します。



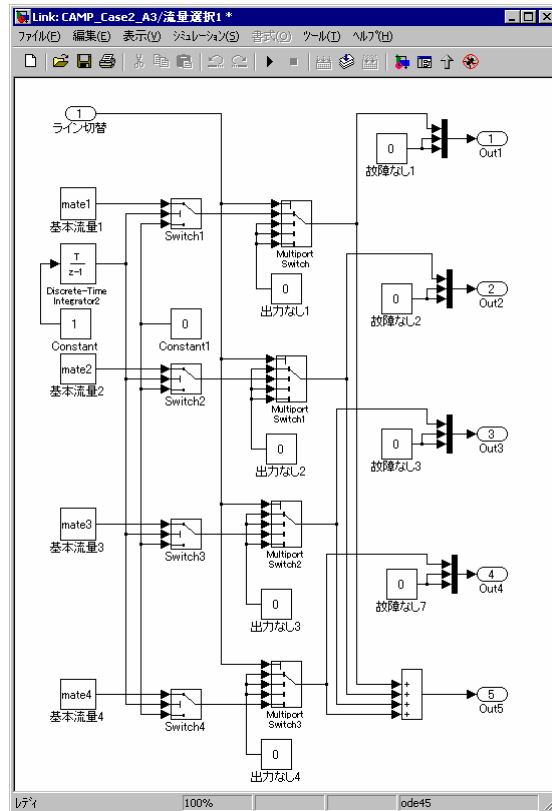
ブロックパラメータは「基本流量」と「最大 MTTR 値」です。「基本流量」には、1 シミュレーション回数あたりの材料の吐出量を設定します。「最大 MTTR 値」には、モデルに含まれる MTTR 対応の処理ブロック(「処理(新Rs 対応)」ブロック)の中で最大の MTTR 値を持つブロックの MTTR 値を通常は設定します。シミュレーション 1 回目からこの回数までの間、基本流量の設定にかかわらず材料は吐出されなくなります(0 が出力されます)。



(b) 流量選択

「流量選択」ブロックは「基本流量」ブロックの代わりに使用されるブロックで、順次出力が切り替わる四つの出力を持つ、『キャンペーン運転』用のシミュレーションモデルで使用される最初のブロックです。各出力ごとの「1 シミュレーション回数あたりの材料の吐出量」を設定すると共に、シミュレーション初期の稼働率を安定して算出させるための「吐出停止シミュレーション回数」を設定します。

「Out1」から「Out4」までの四つの出力は、シミュレーションモデルで評価する各ブロックの「入力」へと接続します。また「Out5」はシミュレーションモデル全体の稼働率をグラフ化するための「フロー表示演算」ブロックの「In1」に接続します。このブロックの「ライン切替」(In1)は「Out1」から「Out4」までの四つの出力のどれを出力させるかを決定する、出力ライン切り替えのためのもので、1 から 4 までの値をとります。



ブロックパラメータは「基本流量 1」から「基本流量 4」までの四つの流量設定と「最大 MTTR 値」です。「基本流量 1」から「基本流量 4」までの四つには、1 シミュレーションあたりの材料の吐出量を設定します。「最大 MTTR 値」には、モデルに含まれる MTTR 対応の処理ブロック(「処理(新 Rs 対応)」ブロック)の中で最大の MTTR 値を持つブロックの MTTR 値を通常は設定します。シミュレーション 1 回目からこの回数までの間、基本流量の設定にかかわらず材料は吐出されなくなります(0 が出力されます)。



(c) ライン切替

「ライン切替」ブロックは、「流量選択」と同じく『キャンペーン運転』用のシミュレーションモデルで使用されるブロックで、各出力の積算量に応じた出力ライン切り替えのための信号を出力し

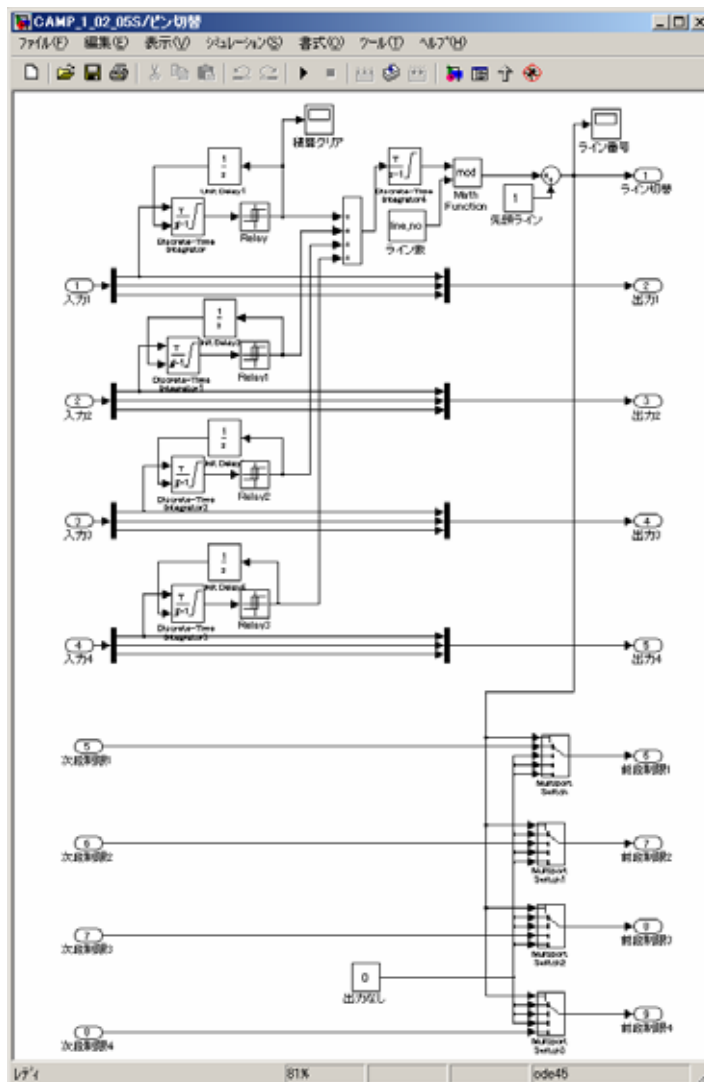
まず、各ラインの切り替え時期を設定するほか、この「ライン切替」ブロックで制御するライン数を設定します。

「入力 1」(In1)から「入力 4」(In4)までの四つの入力は積算流量を評価すべき各ブロックの「出力」をそれぞれ接続します。この入力はそのまま「出力 1」(Out2)から「出力 4」(Out5)」に出力され、積算流量を評価する以外の機能は持ちません。「ライン切替」(Out1)はライン切り替えのための信号の出力で、「流量選択」ブロックや「調整(混合)」ブロックに通常は接続します。

「次段制限 1」(In5)から「次段制限 4」(In8)までの四つの入力は下流の対応する各ブロックの前段制限出力を接続します。また、「前段制限 1」(Out6)から「前段制限 4」(Out9)までの四つの出力は上流のブロックの次段制限入力に接続します。

これらの前段制限出力により、ライン切り替え信号に合わせて上流側の吐出が制限されます。選択された有効なラインには対応する次段制限入力があるまま前段制限出力として出力されますが、選択されていないラインの前段制限出力には0(出力禁止)が出力されます。

これらの入出力のうち使用しない信号がある場合は、正しくターミネートするか接続しないで下さい。接続しなかった場合、コマンドウィンドウに警告メッセージが表示されますが動作に支障はありません。



ブロックパラメータは「積算量 1」から「積算量 4」までの四つの切り替え時期設定と「ライン数」です。「積算量 1」から「積算量 4」までの四つには、ラインを切り替える時期を積算流量で設定します。この際、シミュレーション回数で 1 サイクル分の流量を減算した値を設定することを原則とします(これは、マスクブロック内で使用している積算器の積算値が、常に次サイクルの最初期に更新・評価される仕様であるためです)。「ライン数」には、切り替えるべきライン数(2~4)を設定します。

「ライン切替」ブロックから出力されるライン切り替えの信号がとる値(ライン番号)は、1 から各積算量に達するごとに+1 され、「ライン数」+1 になると 1 に戻ります。

無効なラインの積算量は 0 ではなく 1 を設定します(0 を設定すると積算量 0 が常に成立するため正しく動作しません)。



(d) 調整(混合)

「調整(混合)」ブロックは、二つのブロックの出力を一定比率で混合して出力するためのブロックで、『キャンペーン運転』用のシミュレーションモデルで使用されるブロックです。混合される 2 つの系統の「1 シミュレーション回数あたりの流量」をそれぞれ設定すると共に、該当するラインの稼動と停止を制御するためのライン番号を設定します。

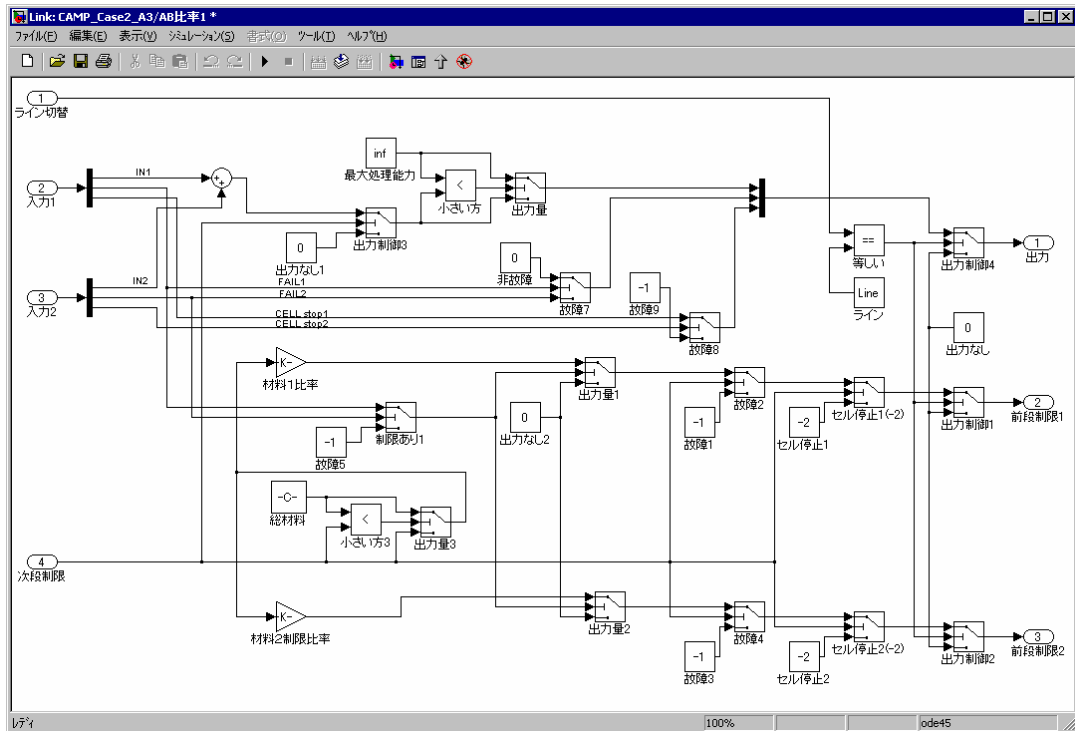
「入力 1」(In2)と「入力 2」(In3)の二つの入力は混合すべき二つの材料を吐出する各ブロックの「出力」に接続します。接続するブロックが「貯留(セル停止)」ブロックの場合、貯留ブロックの「空時強制故障出力」チェックボックスをオンにする必要があります。これにより、一方の材料がないときにもう一方の材料のみが吐出されることを防止します。(現在の仕様では貯留の残容量が 0 の場合は判定できますが、0 ではないが十分でない場合は混合比率にズレが生じます。これを防止するには貯留ブロックの「タンク最大容量」を基本流量の整数倍にし、流量の変動をなくす必要があります。)

「出力」(Out1)は下流に接続されたブロックの「入力」に接続します。

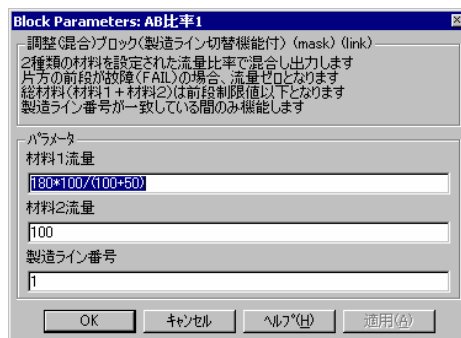
「次段制限」(In4)は下流のブロックの前段制限出力を接続します。また、「前段制限 1」(Out2)と「前段制限 2」(Out3)の二つの出力は上流の対応する各ブロックの次段制限入力に接続します。「次段制限」(In4)から入力された次段制限値は、設定された材料の流量比率で分割され、設定された材料のそれぞれの流量を上限として、「前段制限 1」(Out2)と「前段制限 2」(Out3)に前段制限値として出力されます。

「ライン切替」(In1)に入力されたライン切り替えの値がこのブロックに設定された値と等しい

場合、入力 1 と入力 2 は足しあわされて「出力」(Out1)から出力されますが、設定された値と異なる場合、「出力」には 0 が出力されます。同様に、「前段制限 1」と「前段制限 2」の値についても、ライン切り替えの値がこのブロックに設定された値と異なる場合 0 (出力禁止) が出力されます。



ブロックパラメータは「材料 1 流量」と「材料 2 流量」の二つの流量設定と、「製造ライン番号」です。「材料 1 流量」と「材料 2 流量」は、1 シミュレーション回数あたりの各材料の流入量を設定します。通常「材料 1 流量」と「材料 2 流量」の二つを加算した値が、このブロックの出力となります(次段制限値が加算値より大きい場合)。「製造ライン番号」は、ライン切り替えの信号に対応して、どの値のときに吐出を行うかを指定するものです。ライン切り替えの信号がここで指定された値と異なる場合、吐出および流入を禁止します。



(e) 貯留(セル停止)

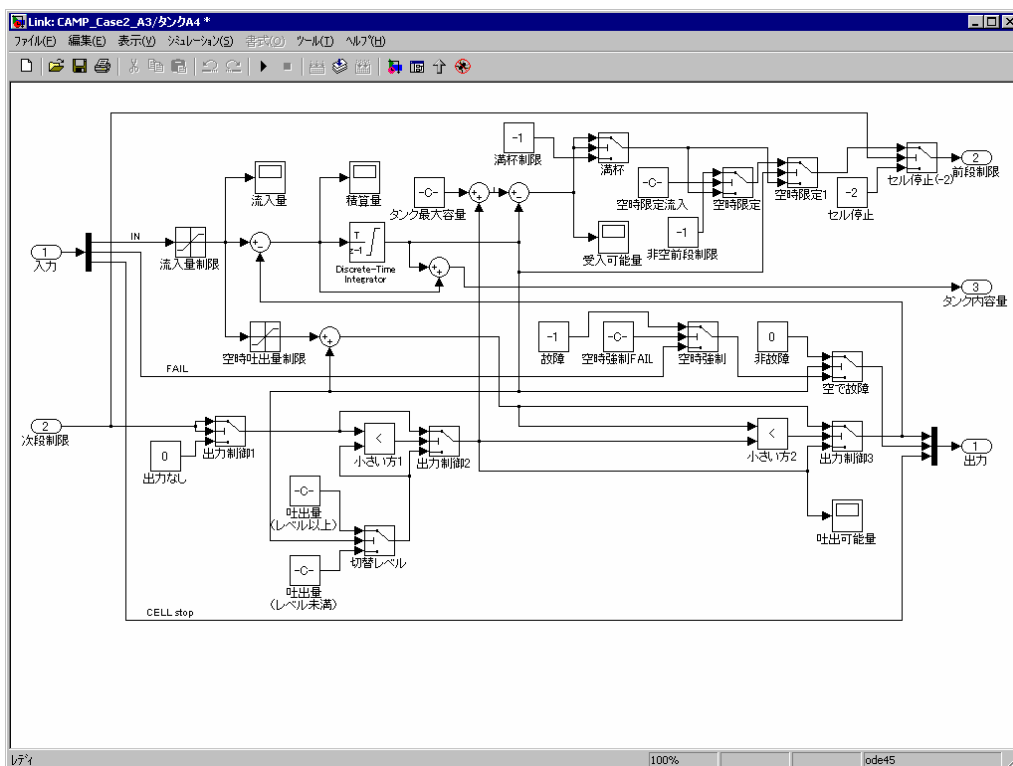
「貯留(セル停止)」ブロックは、『同一セル内機器全停止』に対応した貯留ブロックで、流入す

る材料を最大容量まで蓄え、また吐出する材料の流量を制御することができます。なお、このブロックは「貯留(セル停止)」と「通常貯留(セル停止)」の二種類のブロックがあり、「貯留(セル停止)」ブロックのほうにはブロックプロパティに「空時限定流入」と「空時強制故障出力」の二つの機能を有効とするための専用のチェックボックスを持っています。

「入力」(In1)は貯留すべき材料を吐出するブロックの「出力」を接続し、「出力」(Out1)は下流に接続されたブロックの「入力」に接続します。

また、「次段制限」(In2)は下流のブロックの前段制限出力を接続し、「前段制限」(Out2)は上流のブロックの次段制限入力に接続します。

「タンク内容量」(Out3)は現在のタンク内の残容量を示す出力で、スコープ(結果表示)を接続してタンク内容量のグラフを作成する場合などに使用します。



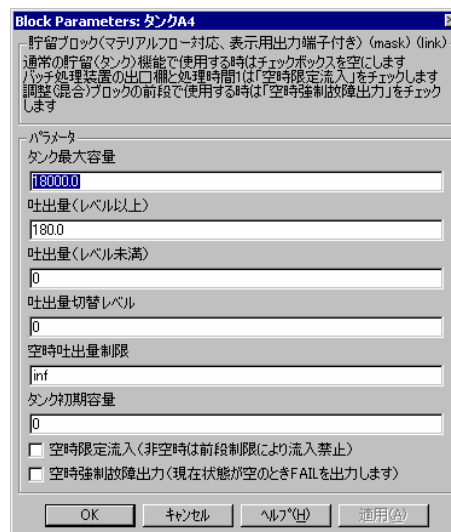
ブロックパラメータは「タンク最大容量」「吐出量(レベル以上)」「吐出量(レベル未満)」「吐出量切替レベル」「空時吐出量制限」「タンク初期容量」の六つの数値と、「空時限定流入」「空時強制故障出力」の二つのチェックボックスです。

「タンク最大容量」はこの貯留タンクの最大容量を設定します。タンク内容量がこの数値に達した場合、前段制限出力に“満杯制限(-1)”が出力されます。「吐出量(レベル以上)」は、この貯留タンクからの吐出量を設定しますが、現在のタンク内容量が「吐出量切替レベル」で設定された数値以上である場合に、この設定が適用されます。「吐出量(レベル未満)」はこの逆に、同じくこの貯留タンクからの吐出量を設定しますが、現在のタンク内容量が「吐出量切替レベル」で設定された数値未満である場合に、この設定が適用されます。「空時吐出量制限」に数値を設定すると、現在のタンク内容量が「吐出量」より小さい場合に、入力から出力に直接吐出される量を制限することができます。「タンク初期容量」はシミュレーション開始時の、外部からの流入が

始まる前のタンク内容を設定するものです。

「空時限定流入」のチェックボックスをオンにすると、現在のタンク容量が空でないときに前段制限出力に“非空前段制限(-1)”が出力されます。これは、『バッチ処理』用のシミュレーションモデルにおいて、「バッチ処理装置」ブロック内部で利用されます(「出口棚」と「処理時間1」)。

「空時強制故障出力」のチェックボックスをオンにすると、現在のタンクの積算容量が空のときに出力の故障系ライン(FAIL)に“故障(-1)”が出力されます。これは、『キャンペーン運転』用のシミュレーションモデルにおいて、「調整(混合)」ブロックの吐出制御に利用されます(混合において一方の流入量が0の場合、もう一方も流入させない)。



(f) セル開始

「セル開始」ブロックは、『同一セル内全機器停止』用のシミュレーションモデルで使用されるブロックで、セルを構成するブロック群の開始点となるブロックです。「セル開始」ブロックと「セル終了」ブロックに囲まれたブロック群がひとつのセルとして機能します。

セル内で“故障”が発生した場合、「貯留(セル停止)」ブロックの動作を含めて吐出および流入を禁止します。

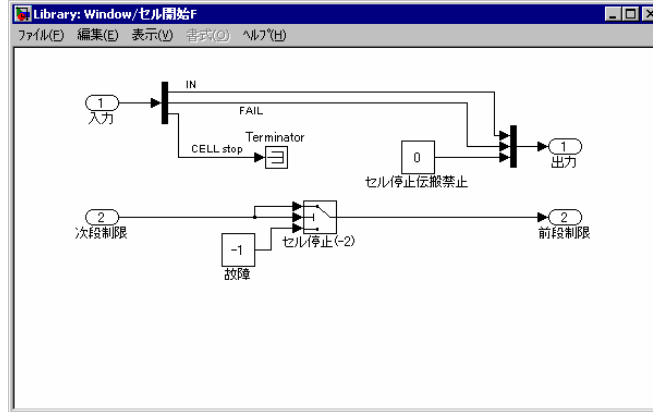
通常「貯留(セル停止)」ブロックは、下流の処理ブロックが“故障”した場合でも、タンク容量が満杯でなければ上流からの流入を受け入れることができます。しかし、セル内に含まれる処理ブロックが“故障”した場合、セル停止系ライン(CELL stop)に“故障(-1)”が出力され、「セル終了」ブロックまで伝播した後、“セル停止(-2)”の前段制限信号となって上流の吐出まで停止させます。この結果、「貯留(セル停止)」ブロックへの流入もなくなりセル内の動作がすべて停止します。

「入力」(In1)はブロック群の上流に接続されたブロックの「出力」を接続し、「出力」(Out1)は下流に接続されたブロック群の最初の「入力」に接続します。また、「次段制限」(In2)は下流のブロックの前段制限出力を接続し、「前段制限」(Out2)は上流のブロックの次段制限入力に接続します。

この「セル開始」ブロックは上流からのセル停止系ライン(CELL stop)の“故障(-1)”信号の伝

播を禁止(無視)するとともに、下流からの“セル停止(-2)”次段制限入力を通常の“故障(-1)”前段制限出力に変換し、“セル停止(-2)”信号の伝播を禁止します。

なおこのブロックには、ブロックパラメータはありません。



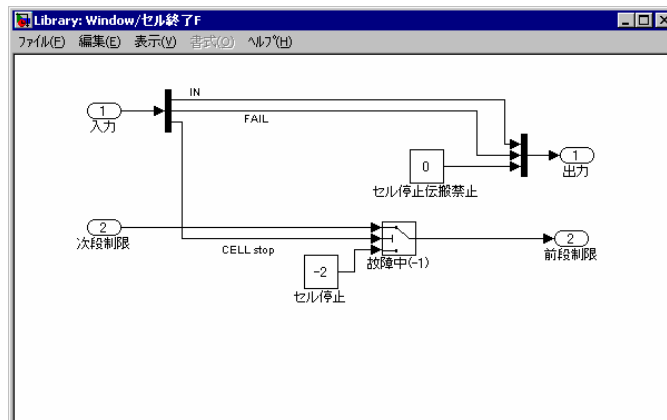
(g) セル終了

「セル終了」ブロックは、『同一セル内全機器停止』用のシミュレーションモデルで使用されるブロックで、セルを構成するブロック群の終了点となるブロックです。「セル開始」ブロックと「セル終了」ブロックに囲まれたブロック群がひとつのセルとして機能します。動作については「セル開始」ブロックを参照してください。

「入力」(In1)は上流に接続されたブロック群の最後の「出力」を接続し、「出力」(Out1)はブロック群の下流に接続されたブロックの「入力」に接続します。また、「次段制限」(In2)は下流のブロックの前段制限出力を接続し、「前段制限」(Out2)は上流のブロックの次段制限入力に接続します。

この「セル終了」ブロックは下流へのセル停止系ライン(CELL stop)に“非故障(0)”を出力してセル停止信号の伝播を禁止するとともに、上流からのセル停止系ライン(CELL stop)の“故障(-1)”を“セル停止(-2)”前段制限出力に変換して上流に伝播します。「セル開始」ブロックまで“セル停止(-2)”信号が伝播することにより、セル内の処理ブロックの吐出がすべて禁止されます。

なおこのブロックには、ブロックパラメータはありません。



(h) バッチ処理装置(サブシステム)

「バッチ処理装置」ブロックは、『バッチ処理』用のシミュレーションモデルで使用されるブロックで、「入口棚」「処理」「出口棚」等のブロックであらかじめ内部構成された、複合マスクブロック(サブシステム)です。なお、このブロックは「バッチ(MTTR=1)」と「バッチ(MTTR 対応)」の二種類のブロックがあります。「バッチ(MTTR=1)」ブロックの方は MTTR(平均修理時間)が 1 シミュレーションサイクルに固定されており、ブロックパラメータにはこの設定項目はありません。一方「バッチ(MTTR 対応)」ブロックのほうは MTTR(平均修理時間)を 2 以上の任意の整数に設定することができ、ブロックパラメータにこの設定項目が用意されています。

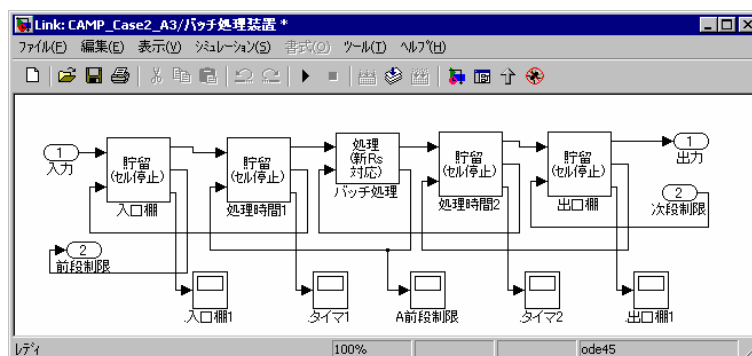
「入力」(In1)はバッチ処理すべき材料を吐出するブロックの「出力」を接続し、「出力」(Out1)は下流に接続されたブロックの「入力」に接続します。また、「次段制限」(In2)は下流のブロックの前段制限出力を接続し、「前段制限」(Out2)は上流のブロックの次段制限入力に接続します。

このサブシステムのブロックパラメータは内部を構成している各ブロックの名前を基にして、各ブロックのパラメータを設定します。したがって、「入口棚」「処理時間 1」「バッチ処理」「処理時間 2」「出口棚」の各名称は変更しないでください。内部の各ブロックへのパラメータ設定が不能となります。また、内部の各ブロックのブロックパラメータを直接設定せず、サブシステムのブロックパラメータのみを使用してください。内部の各ブロックのブロックパラメータには、サブシステムのブロックパラメータで上書きされる項目と、上書きされず設定が有効となる項目があり、設定の確認が困難となります。

「バッチ処理装置」ブロックでは「処理時間 1」と「出口棚」のブロックパラメータの「空時限定流入」チェックボックスがオンされている必要があります。

現実のバッチ処理装置では、“故障”が発生すると「入口棚」への流入と「出口棚」からの吐出は続けながら、処理ブロックは MTTR(平均修理時間)分停止し、いったん内部のバッチ処理部を空にしてから動作を再開することが考えられます。

このモデルでは“故障”時に処理ブロックが MTTR(平均修理時間)分停止するだけの仕様となっており、バッチ処理部を空にするという動作ができません。(“故障”時に「処理時間 1」と「処理時間 2」を 0 クリアできないため)。したがって、処理ブロックの MTTR 値は現実の状況にあわせて少し大きめに設定する必要があります。



ブロックパラメータは「既知稼働率」「平均修理時間(MTTR)」「バッチ処理量」「バッチ処理時

間「バッチ後吐出量」の五つの数値です(「平均修理時間(MTTR)」は「バッチ(MTTR 対応)」のみです)。

「既知稼働率」はこの「バッチ処理装置」ブロックの稼働率を設定します。また「平均修理時間(MTTR)」はこの「バッチ処理装置」ブロックの平均修理時間を設定します。

「バッチ処理量」はこの処理装置がバッチ的に処理する合計の処理量を設定します。入力に流入する材料は、ここで設定された数値に到達するまでは「バッチ処理装置」ブロック内の「入口棚」に貯留されます。「バッチ処理時間」にはこの処理装置がバッチ処理量分の加工を行うために要するシミュレーションサイクル数を設定します。ここで設定された数値の回数が処理に要する時間となります。「バッチ後吐出量」にはこの処理装置から出力される 1 シミュレーションサイクルあたりの吐出量を設定します。「バッチ処理時間」が経過すると「バッチ処理装置」ブロック内の「出口棚」は「バッチ処理量」の値となります。「出口棚」からはこの吐出量にしたがって順次材料が出力されます。



以上