

化学プラントにおけるバッチプロセススケジューリング事例

01013150 株式会社富士通総研
01606110 株式会社富士通総研*大西 真人 OHNISHI Makoto
宮崎 知明 MIYAZAKI Tomoaki

1 はじめに

スケジューリングの最適化に関しては、従来より多くの研究がなされており、有用なモデル・アルゴリズム・ソフトウェアが提供されている。本稿では、ある化学メーカーにおける合成プラントの月次生産計画スケジューリングに対する取り組み事例について述べる。

2 対象プロセス

対象となる合成プラントのバッチプロセスを図1に示す。

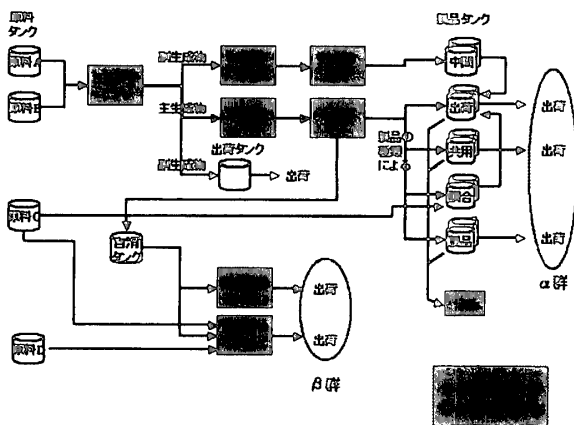


図1: 対象プロセス

本プロセスで製造される製品はα群とβ群にわかれる。α群の製品のうちの一部はβ群の原料となるため、それぞれのスケジューリングを別個に行うことはできない。

図1の反応装置1での反応工程によって主生成物と副生成物が生成され、それぞれ、洗浄工程、蒸留工程を経てα群の製品となる。タンクに溜められた製品は、

種類により、調合などの特殊工程を経た後、分析を行い、合格が出るまで出荷できない。また、β群の製品は、α群の製品の一部を原料とし、反応装置2あるいは反応装置3での反応工程によって製造される。製品により、反応装置2、反応装置3のいずれを使うかは定まっている。

3 要件

これまでこのスケジュールを手作業で作成していた担当者へのヒアリングを元にまとめた要件の概要は以下のとおりである。

- 1ヶ月分の生産スケジューリング
- 最小単位は1時間(したがって、 $24 \times 30 = 720$ 単位分のスケジューリング)
- 製品数はα群20種類、β群22種類
- 当月の製造量は製品毎にバッチを単位として与えられる
- 各製品の各工程に対し、専有する装置/タンク、1バッチ分の所要時間が与えられている
- 主な制約は以下のとおり
 - 作業による装置・タンクの専有
 - タンク内の製品/原料の量の上下限
 - 共用タンクでの混合の不可(現在入っている製品と同じ製品は入れられるが他の製品を入れることはできない)
 - 作業者の休日(どうしても無理なら休日出勤可)
 - 反応装置2,3では、製造する製品の前後関係により装置の掃除(平日2日)が必要(表1を参照のこと)
 - 一部の工程は開始時刻指定(平日の8,16,24時など)
- 主な指標は以下のとおり

- 掃除の回数の最小化
- 休日出勤の回数の最小化
- 反応装置 1 において製造する製品の前後関係の最適化 (装置の物性の変化がなめらかになるように) (表 2 を参照のこと)

表 1: 掃除の必要性有無の例

		直後の製品		
		製品 β_A	製品 β_B	製品 β_C
直前の製品	製品 β_A	—	—	●
	製品 β_B	—	—	●
	製品 β_C	—	●	●

—: 不要 ●: 必要

表 2: 物性値の差の例

		直後の製品		
		製品 α_A	製品 α_B	製品 α_C
直前の製品	製品 α_A	0	3	不可
	製品 α_B	3	0	5
	製品 α_C	不可	5	0

4 モデリングおよび解法

スケジューリング問題の解法としては、数理計画法、メタヒューリスティクス等の手法が提案されているが、本スケジューリングにおいては、制約論理を実装したコンポーネントである ILOG Solver および ILOG Scheduler¹を使用することとした。複雑な制約条件が多く、数理計画問題としての定式化が困難であること、短時間での実行可能解の算出が必要であることが主な理由である。

3 節で記した要件のほとんどは、ILOG Scheduler に定義された activity, resource 等のクラスを使うことにより自然に表現できた。しかし、

- 共用タンクでの混合の不可
- 製品の前後関係により必要となる掃除が指定された時刻 (平日の 8 時から等) にしか開始できない

等の条件については、ダミー activity やダミー resource を使って表現するなどの工夫が必要であった。

¹ILOG Solver および ILOG Scheduler はアイログ社の商標である。

5 計算結果

ある月の実データにおける問題のサイズを以下に示す。

表 3: 問題のサイズ

バッチ数	63
アクティビティ数	421
整数変数	974

この問題に対し、CPU:Pentium 4 2GHz の PC で計算したところ、2 秒ほどですべての制約を満たす解を算出した。その後はより目的関数の良い解へ改善しつづけるが、丸一日回しても、厳密な最適解には到達しない。1 時間程度で計算を止め、その時点での最良解を出力している。

6 今後の課題

6.1 目的関数の再構築

現在の目的関数は、3 節で挙げた指標の重みづけ和であるが、現実的に人間の判断に役立つコスト等の指標とすることが求められている。現在の目的関数は「手作業で行っていた時の担当者の判断基準」をモデル化し作成したものであるが、より実用的なものへ発展させる必要がある。

6.2 解法の改善

現在算出される解は、すべての制約条件を守っているものの、目的関数値の観点で、十分に担当者の満足を得られているとはいいがたい。これは、制約論理の「実行可能解を算出するのは得意であるが、最適性に関しては、数理計画等の手法に及ばない」という性質によるものと考えている。

目的関数を再構築した後、制約伝播・ヒューリスティック探索の更なる工夫、数理計画やメタヒューリスティクスとの融合などを試みるのが今後の課題となる。

参考文献

- [1] ILOG Scheduler 5.1 User's Manual, 2001.
- [2] ILOG Solver 5.1 User's Manual, 2001.