

部品供給に制約のある多品種組立て工場の ラグランジュ緩和法によるスケジューリング

01701460 東芝 研究開発センター
01109430
01109570

University of Connecticut

* 米田清 YONEDA Kiyoshi
加納敏行 KANO Tohiyuki
京屋祐二 KYOYA Yuji
LUH Peter B.
ZHANG Yuanhui

1 問題

従来は手作業でなされていた、コンプレッサの組立てスケジュール作成を自動化する。自動化の主目標はスケジュール作成にかかる時間を短縮し、計画調整を頻繁に行うことである。

コンプレッサは空調や冷蔵庫の中心部品であり、品種数が多い。生産は受注により、製品のロット毎に納期がある。在庫は溜めたくない。そこでスケジュールは各ロットを納期直前に完成することを目的とする。納期の厳しさは、(たとえば他のラインを止めないため)必ず守るべきものから、(たとえば保守用備品の補充のように)目安程度のものまで、数段階に分類している。

ロットは受注毎に決まるので、大きさ、すなわち含まれる製品数がまちまちである。同一品種の製品ばかりを作り続けると、その製品のキーになっている精密部品の供給が間に合わなくなる。そこで、大きすぎるロットは分割する。一方、品種を頻繁に切替えると、段取り作業が多くなる。そこで、小さすぎるロットは、品種が同じで納期に近いものを併合する。このようにロットを分割併合したものをジョブとよぶ。ジョブの納期は含まれるロットの納期から決める。

生産を行うラインは複数あり、能力が異なる。ある品種を組立てられるラインはどれとどれかが決まっている。多品種を扱えるラインは

遅く、専用化されたラインは速い。

スケジュールは「どのジョブをどのラインでいつやるか」を指定する。このような問題は、目標追跡法 [3] のようなヒューリスティクスで扱うことが多く、特殊な場合は最適化で扱えることもある [1]。いずれも品種毎の時間に関する累積生産量を累積需要量に近づけるという、ジョブに関して平均的な扱いである。それに対し、この問題では個々のジョブの完成時刻を陽に最適化する。

2 定式化と解法

ジョブ毎に分離可能な定式化を得ることが主眼である。

目的関数 ジョブ完成は納期の直前に。
設備容量制約 生産はラインの能力以内で。
部品消費制約 部品消費は供給能力以内で。
段取りについてはロットをジョブに直したときに考慮されているとし、スケジューリングでは扱わない。各ラインはスケジューリング上は単一の機械として扱う。

目的関数や設備容量制約は、たとえば [2] と類似の従来の定式化法で分離可能にできる。

部品消費制約は以下の新しい定式化 [4] を採用する。特定の製品をどれだけ作れるかは、その製品のキーとなっている精密部品の供給能力がネックとなって定まる。したがって移動平

均のように、時間枠 W_i 内に品種 i を N_i 台までしか作ってはならないという制約として表現できる。その時間枠を時間軸に沿って逐次ずらせば、製品毎に分離可能な一連の制約式が得られる。時間枠を一度にずらす量は品種に依存し、たとえば一週間毎である。

定式化の要旨は以下のとおり。

i, j, h, t 品種, ジョブ, ライン, 時間.

δ_{jht} j を h で t に処理中なら $= 1$,
それ以外なら $= 0$.

S_j, T_j 完工時間の納期に対する
早すぎ, 遅すぎの時間.

α_j, β_j それらの重み.

W_i, N_i 時間枠の大きさと,
その間に作って良い i の製品数.

n_{hi} h による i の生産速度.

として

目的関数 $\min \sum_j (\alpha_j S_j + \beta_j T_j^2)$

装置容量制約 $\sum_j \delta_{jht} \leq 1$

部品供給制約 $\sum_{j,h} n_{hi} \sum_{k=t}^{t+W_i} \delta_{jhk} \leq N_i$

時間は 6 分単位に離散化して扱う。計画期間は 1 か月、ジョブの数 600、ラインの数は 5。これでラグランジュ乗数の数が 4,000 程度になり、先に手がけたプロジェクト [2] よりは問題規模が小さい。解法は共役代理劣勾配法 [5] を採用している。すなわち部分問題を 1 つ解くと、すぐに乗数を更新する。

3 結果

運用では計算を 10 分から 20 分で止めている。双対ギャップは 40% くらい、入力データによっては数% になる。

手作業でスケジュールを立てると 1 日かかる。その場合、時間単位も 1 日と、6 分より粗い。更に、諸制約も完全には満たせないことがある。これらを全て解決した。

同一の入力データに対して、手作業で作ったスケジュールとラグランジュ緩和法によるスケジュールの比較例を図 1 に示す。グラフの縦軸はジョブの数、横軸は納期からのずれの日数である。中央が納期からのずれなし、右

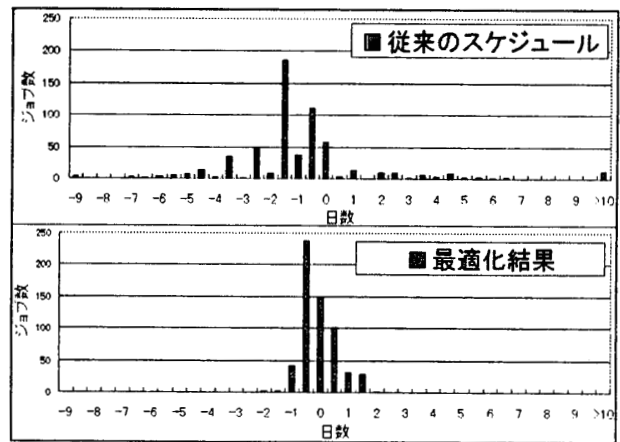


図 1: スケジュールの比較例

は納期遅れ、左は納期より早すぎを意味する。従来のスケジュールよりも納期に合っている。ただし、この例では手作業によるスケジュールではジョブによって納期の厳しさに差があることを意識しているのに対し、ラグランジュ緩和法によるスケジュールではそれに対応するパラメタが未設定である。

文献

- [1] W. Kubiak and S. P. Sethi. *Optimal Just-in-Time Schedules for Flexible Transfer Lines*. Int'l J. of FMS. 6, 137-154, 1994.
- [2] P. B. Luh, et al. *Job Shop Scheduling with Feature-Dependent Setups, Finite Buffers, and Long Time Horizon*. Annals of Operations Research, 76, 233-259, 1998.
- [3] Y. Monden. *Toyota Production System*. IIE Press, 1983.
- [4] Y. Zhang et al. *Mixed-Model Assembly Line Scheduling Using the Lagrangian Relaxation Technique*. Proc. IEEE CCA, 1997.
- [5] X. Zhao et al. *The Surrogate Gradient Algorithm for Lagrangian Relaxation Method*. Proc. IEEE CDC. 12/1997.