

# バッチ生産と連続生産とを

## 連結したスケジューリング

学産業能率短期大学

坪根 齊

### 目 次

- I ソース製造業の特質とその問題点
- II ソース工場の概要
- III 日程計画手順の確立
  - (1) 評価尺度の設定と問題解決の方向付け
  - (2) 段取時間の短縮
  - (3) 最適品目の組合せ
  - (4) 全体を統合した日程計画の検討
  - (5) 日程計画の実施手順
  - (6) 実施結果
- IV 今後の課題

### I ソース製造業の特質とその問題点

ソースの製造は、単に、原料を釜で混合・煮沸してから瓶やポリの容器に充填するにすぎない。しかし、効果的な日程計画の立案は、工程の単純性とかならずしも一致しない。その理由は次の2つに大別できる。

- 1つはソース製造工場をとりまく外部要因であり、
  - ① 需要者が食事の内容によって、味や濃度の異なるソースを要求する。
  - ② 同一品種であっても需要者各人の消費量に応じた手軽な容器を希望する。
  - ③ 工場と市場間の距離、容器のサイズ等によって梱包方法が異なる。
  - ④ 需要量は長期的には一定の安定した推移を示しながらも、ソース製造会社が非常に多く、各社の販売戦略（価格の割り引き、景品付等の拡販）によって、短期的には工場への要求は大幅に変動する。
  - ⑤ 製造年月日に対する需要者の関心が高まり、長期間の見込み在庫が許されない。

これらの要因によって、品種、容器は多様化すると同時に、製造ロットは細分をよきなくされる。

2つは工場内部の要因であり、ソース製造工程の量産化と省力化との要請により、混合・煮沸は大型煮沸炉によるバッチ生産を行い、容器への充填は高速設備による連続生産が志向されてきたが、品種、容器のサイズ別の専用ライン化するほどは需要が伴わないから、

- ① 煮沸工程のバッチ生産と充填ラインの連続生産

とが、製造能力面でアンバランスが発生する。

- ② 品種、容器の切替えの際に、人的、設備的にロスが発生する。

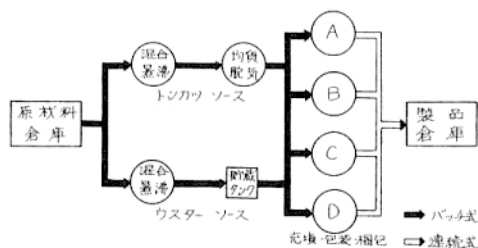
このように、多様化と小ロット生産のソース製造工場においては、設備並びに人的資源の有効活用を目的とした効果的な日程計画の立案が実要な課題となる。

本論は、かかるソース製造工場の特質を念頭において、バッチ生産と連続生産とを連結した計画の手順について、事例を中心に論ずるものである。

### II ソース工場の概要

#### (I) 製造工程

第1図は某ソース工場の工程、貯蔵および製品の流れの型を略図で示したものである。



第1図 ソース製造工程図

原材料は、煮沸炉で、バッチ生産により混合、煮沸されて、次に容器（瓶、ポリ）別、容器の類似サイズ別に専用化された充填ライン（A、B、C、D）で連続的に充填・冷却・ラベル張り・検査・梱包されて、製品倉庫に貯蔵され、需要に応じて市場に出荷される。

トシカツ・ソース（品種は  $T_1$  と  $T_2$  がある）は技術的制約から高温時に容器に充填する必要があり、均質・脱気後、直接充填ラインへ流れるが、煮沸工程がバッチ生産であり、充填ラインが連続式であるため、バッチ間の切替のわずかな中断を脱気槽がバッファー機能を果たしている。ウスター・ソース（品種は  $U_1$  と  $U_2$  がある）は常温充填が可能であるため煮沸後一時、貯蔵タンクに保管しておき、充填ラインがあいている間

に充填することができる。

(2) 製品の種類と製造能力

当工場で製造するソースの種類と製造能力に関するデータを第1表、第2表に示す。

第1表 ソースの種類

大分類	品種	煮沸炉の能力
トンカツ・ソース	T <sub>1</sub>	最大
	T <sub>2</sub>	4,800ℓ/Hr
ウスター・ソース	U <sub>1</sub>	最大
	U <sub>2</sub>	5,000ℓ/Hr

第2表 充填ラインの内容

充填ライン	製品の容器	製造能力 (ℓ/Hr)	梱包方法		容器の材質
			段ボール	木箱	
A	1.8ℓ	4,600	○	○	瓶
	1ℓ	3,200	○	○	
	630mℓ	3,200	○		
B	360mℓ	1,600	○		
	200mℓ	1,000	○		
C	900mℓ	2,600	○		
	700mℓ	2,600	○		
D	500mℓ	1,300	○		
	300mℓ	1,300	○		

(3) 段取時間

人的・設備の効率を左右する段取替えは2種類ある。  
S<sub>1</sub> : 品種の切替えの際に煮沸炉、充填ラインへ直結するパイプの掃除時間

S<sub>2</sub> : 充填ラインで容器、梱包方法の切替えの際に発生する段取時間

従って、

- 品種のみ切替わる場合の中断時間 …… S<sub>1</sub>
  - 容器、梱包方法が切替わる場合の中断時間 … S<sub>2</sub>
  - 両方共に切替わる場合の中断時間 … max {S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>}
- つまり S<sub>1</sub> と S<sub>2</sub> との大きい値が中断時間となる。

第3表 充填ラインの段取時間

		(分)				
		(1) Aライン		(2) Bライン		
From	To	① 1.8ℓ (段ボール)	② 1.8ℓ (木箱)	③ 1ℓ (段ボール)	④ 1ℓ (木箱)	⑤ 630mℓ (段ボール)
① (段ボール)	① 1.8ℓ	90	10	60	10	
② (木箱)	① 1.8ℓ	120	90	60	90	
③ (段ボール)	① 1ℓ	30	180	90	10	
④ (木箱)	① 1ℓ	120	60	60	60	
⑤ (段ボール)	① 630mℓ	30	180	10	90	

		(分)	
		(2) Bライン	(3) Cライン
From	To	② 1.8ℓ (木箱)	③ 1ℓ (段ボール)
② (木箱)	② 1.8ℓ	200mℓ	
③ (段ボール)	② 1.8ℓ	700mℓ	
④ (木箱)	② 1ℓ	300mℓ	

これら段取替えによる中断期間、充填ラインは止まり、各工程に配置されている作業者は、段取替作業に従事するか、実質上のロスタイムとなる場合が多い。

品種切替えによる煮沸工程の段取替時間 (S<sub>1</sub>) は、  
S<sub>1</sub> = 30分

充填ラインの段取替時間 (S<sub>2</sub>) は第3表に示す。

(4) 製造上の問題点

① ウスター・ソースの製造は煮沸後一たん貯蔵タンクに保管できるから充填ラインがあいている限り充填可能であり、その点融通性がある。しかし、トンカツ・ソースの場合は、煮沸工程と充填ラインが直結しており、1ラインでも1品種のトンカツ・ソースが流れていると、他品種のトンカツ・ソースは、いかなる充填ラインにも流せない(製造できない)。

② 稼働時(段取替えによる中断時間も含む)に各工程に配置される人員は、品種、生産量に関係なく一定である。従って、煮沸工程において、ウスター・ソースの製造は煮沸炉の設備能力一杯活用できるが、トンカツ・ソースの場合、充填ラインを適切に組合せて製造しないと炉の効率は低下し、作業者の有効利用ができなくなる。

③ 充填ラインAの製造能力は最も大きいですが、取扱う容器や梱包方法の種類が多く、製造順位の良否によって、段取替時間は大幅に違ってくる。

(5) 日程計画の現状と問題点

現状の日程計画は、製造の1カ月前に本社よりの月間生産計画(品種別、容器別、梱包別の製造量)を受けて、製造量(Q)を充填ライン別の仕事量に変換し、次の経験法則

- トンカツ・ソースを優先する。
- 充填Aラインを優先させ、段取替を少なくさせる。
- 煮沸炉が最大能力を発揮できるようにする。
- 同一品種を連続して流す。

に従うように日程計画を立案しているが、

① これら経験法則の明確な実施手順がない。従って、4つの経験法則のうち1つが相矛盾する場合、どの法則を優先させるかが不明であり、結果的には試行錯誤的な計画になっている。

② 1カ月間を計画単位に日程を組んでいるが、需要の変動によって、1カ月間を経過した後は、大幅な変更になっており、結果として大幅な段取回数が発生している。

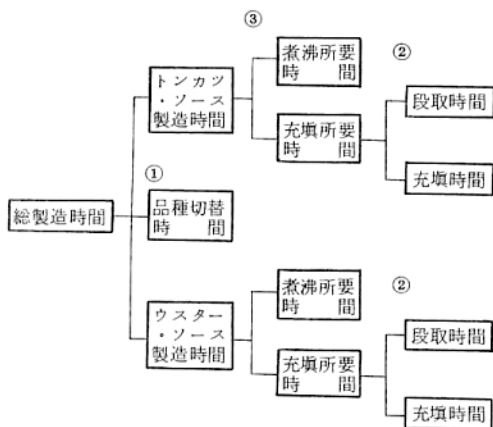
III 日程計画手順の確立

(1) 評価尺度の設定と問題解決の方向づけ

効果的な計画手順を確立するためには、計画の良否を決める評価尺度を明確にする必要がある。

- ① 月間の品種別生産量は決定されている。
- ② 稼働中（段取替による中断時間を含む）のライン配置人員は一定である（トンカツ・ソース製造の場合、製造能力の小さい充填ラインが1ラインしか稼働していなくても煮沸工程はバッチ量が小さくなるだけで、人員は減らない）。

従って、月間の生産予定量を最小の製造時間（延べ所要工数の最小化に一致する）で達成することが評価尺度と考えられる。そこで、計画面で製造時間を短縮できる要素とできない要素を明確にするため、第2図に製造時間のスキマチックモデルを示して解決の方向づけを行った。



第2図 ソースの製造時間

日程計画によって管理できる製造時間は

- ① 品目切替えによる煮沸工程の段取替時間  
これは同一品種のソースを連続して製造することによって段取替回数を減らすことができる。
- ② 充填ラインの段取替時間

充填Aラインの段取替時間を最小にするために容器別、梱包別の製造優先順位を決める必要がある（B, C, DラインはAラインの段取替時間に比べて小さいので無視できる）。

③ 煮沸工程の所要時間

トンカツ・ソース製造で、煮沸設備能力を有効に活用するために、充填ラインの最適稼働組合せを行うことによって解決できる。

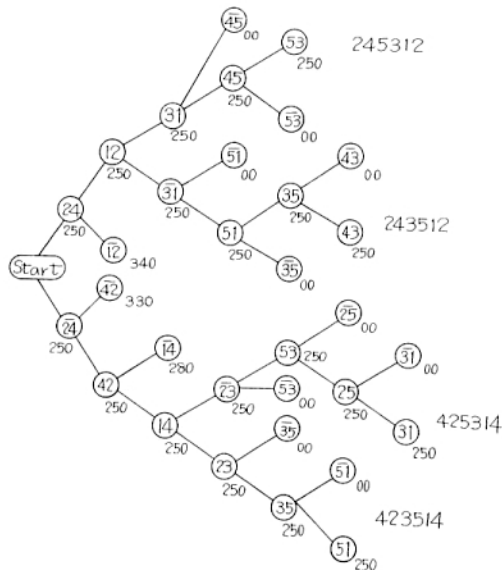
④ 計画変更による段取替の増大

計画変更を吸収するために、1カ月間の製造期間を区分して、各区分した計画内で製品別、容器別の1サイクルの製造を行い、計画変更は次の計画期間内で修正するようにする。

(2) 段取替時間の短縮

充填Aラインで容器、梱包方法の違い製品を次々に

切替しながら計画期間内で全品種を生産するとき、段取時間を最小とするような最適製造順位を求める問題を“巡回セールスマン問題”として定式化を行い、Branch and Bound法でその解を求めた。5つの仕様様の異なる製品を製造する場合を第3図に示す。



第3図 Branch and Bound法による最適順位

○内の数字は製品（容器、梱包別）番号で、 $\odot_{xy}$ はx→yの順位を表わし、 $\otimes_{xy}$ はx→y以外の順位を表わす。  
○外の数字は段取時間の合計。

また、各計画期間内に仕様の異なる5つの全製品を製造しない場合も発生するので、計画期間中に製造する品種とそれらの製造順位の一覧表を第4表に示す。

第4表 充填Aラインのプロダクトミックスと最適順位

プロダクト・ミックス	最適順位	段取時間(分)
全製品	$\odot_{12}$ $\odot_{21}$ $\otimes_{13}$ $\otimes_{31}$ $\otimes_{24}$ $\otimes_{42}$ $\otimes_{35}$ $\otimes_{53}$ $\otimes_{41}$ $\otimes_{14}$ $\otimes_{43}$ $\otimes_{34}$ $\otimes_{51}$ $\otimes_{15}$ $\otimes_{54}$	250
①が欠ける場合	$\odot_{21}$ $\odot_{12}$ $\odot_{34}$ $\odot_{43}$ $\odot_{51}$ $\odot_{14}$ $\odot_{41}$ $\odot_{23}$ $\odot_{32}$ $\odot_{54}$ $\odot_{45}$ $\odot_{13}$ $\odot_{31}$ $\odot_{25}$ $\odot_{52}$	250
②が欠ける場合	$\odot_{12}$ $\odot_{21}$ $\odot_{34}$ $\odot_{43}$ $\odot_{51}$ $\odot_{14}$ $\odot_{41}$ $\odot_{23}$ $\odot_{32}$ $\odot_{54}$ $\odot_{45}$ $\odot_{13}$ $\odot_{31}$ $\odot_{25}$ $\odot_{52}$	160
③が欠ける場合	$\odot_{12}$ $\odot_{21}$ $\odot_{34}$ $\odot_{43}$ $\odot_{51}$ $\odot_{14}$ $\odot_{41}$ $\odot_{23}$ $\odot_{32}$ $\odot_{54}$ $\odot_{45}$ $\odot_{13}$ $\odot_{31}$ $\odot_{25}$ $\odot_{52}$	240
④が欠ける場合	$\odot_{12}$ $\odot_{21}$ $\odot_{34}$ $\odot_{43}$ $\odot_{51}$ $\odot_{14}$ $\odot_{41}$ $\odot_{23}$ $\odot_{32}$ $\odot_{54}$ $\odot_{45}$ $\odot_{13}$ $\odot_{31}$ $\odot_{25}$ $\odot_{52}$	220
⑤が欠ける場合	$\odot_{12}$ $\odot_{21}$ $\odot_{34}$ $\odot_{43}$ $\odot_{51}$ $\odot_{14}$ $\odot_{41}$ $\odot_{23}$ $\odot_{32}$ $\odot_{54}$ $\odot_{45}$ $\odot_{13}$ $\odot_{31}$ $\odot_{25}$ $\odot_{52}$	240

- ① 1.8ℓ (段ボール)
  - ② 1.8ℓ (木箱)
  - ③ 1ℓ (段ボール)
  - ④ 1ℓ (木箱)
  - ⑤ 630ml (段ボール)
- × 段取時間だけを考えた場合は最適順位の1つであるが、充填ラインの組合せを考慮した場合は不適となる。  
〔(4) 全体を総合した計画手順の検討、を参照〕

(3) 煮沸工程効率化のための充填ラインの組合せ

ウスター・ソースの煮沸工程は充填ラインと独立して製造可能であるから、煮沸炉の最大容量を1パッチとして製造できるが、トンカツ・ソースの場合は煮沸工程と充填ラインが直結しており、1度に1品種しか製造できない。従って、第1表、第2表から煮沸炉が最大能力(最大パッチ)になるような稼働充填ラインを組合せることによって、煮沸工程の効率が高まる(製造時間の短縮につながる)。第5表は充填ラインの組合せの優先順位を示す。

第5表 充填ラインの組合せの優先順位

ライン別 容器別	A		B		C	D
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>		
	1.8ℓ	1ℓ 630mℓ	360mℓ	200mℓ	900mℓ 700mℓ	500mℓ 300mℓ
A	A <sub>1</sub> 1.8ℓ	②				
	A <sub>2</sub> 1ℓ 630mℓ		⑦	④		③
B	B <sub>1</sub> 360mℓ		①	⑩	④	⑧
	B <sub>2</sub> 200mℓ		④		⑩	⑩
C	900mℓ 700mℓ			④	⑥	⑨
D	500mℓ 300mℓ		③	⑧	⑩	⑤

○は煮沸能力(4,800ℓ/H)の範囲内の製造可能な組合せ  
○の小さい数値ほど煮沸工程の効率の高い順位

(4) 全体を統合した計画手順の検討

煮沸工程の効率と充填ラインの効率とを統合した計画は

① トンカツ・ソースを第1優先として、同一品種を連続して製造する。

② ウスター・ソースは充填ラインにゆとりのある時に充填する。

ことが前提となるが、充填ラインの段取時間を短縮する製造優先順位と煮沸工程の効率化のための充填ラインの製造組合せの優先順位とは必ずしも一致しない。

従って、両者の重要度を稼働時の配置人員(所要工数)の面から検討して、

③ Aラインの段取時間の最小化を優先してスケジュールを作成する。

その場合、煮沸工程の効率を高めるための充填ラインの組合せは、③の許容範囲内での組合せとなるから、第5表は第6表に修正される。

1.8ℓ容器のトンカツ・ソースを製造している間、他のラインはトンカツ・ソースを充填できない(Aラインの1.8ℓ容器の製品製造で煮沸工程の製造能力は限界に達する)から、1.8ℓ容器の製品製造の前に他の容器の製品を2ライン稼働させて充填させると、2ラインが同時に完了しない限り、1ラインは遊休を生

第6表 Aラインを優先した場合の組合せの優先順位

ライン別 容器別	A		B		C	D
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>		
	1.8ℓ	1ℓ 630mℓ	360mℓ	200mℓ	900mℓ 700mℓ	500mℓ 300mℓ
(1or6)	A <sub>1</sub> 1.8ℓ	②				
(1)	A <sub>2</sub> 1ℓ 630mℓ		④	①	③	②
(2)	B <sub>1</sub> 360mℓ			③		①
(4)	B <sub>2</sub> 200mℓ				②	①
(5)	C 900mℓ 700mℓ					①
(3)	D 500mℓ 300mℓ				①	②

(注) 表の見方

- 縦の( )の小さい数字の行を優先させる。
- 次に○の小さい数字の組合せを行う。たとえばAラインを稼働させる場合A<sub>2</sub>-B<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>-D、A<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>、A<sub>2</sub>(1ライン)となり、次にA<sub>1</sub>の順で製造する。また、A<sub>2</sub>-B<sub>1</sub>でA<sub>2</sub>の製造が完了した場合は②のB<sub>1</sub>に移り、B<sub>1</sub>-C、B<sub>1</sub>-D、B<sub>1</sub>(1ライン)の順に組合せて製造する。

じるか、又は、ロット分割が発生する(結果的には段取替が増える)。従って

- 1.8ℓ容器の製品製造は、品種又は仕様(梱包方法)の異なる1.8ℓ容器の製品製造がスケジュール上、連続して並ぶようにする。
- ④の原則から第4表の最適製造順位は制限を受けて、1.8ℓ容器が1サイクルの最初か又は最後にスケジュールされるから、第7表のように修正される。

第7表 プロダクト・ミックスと最適製造順位

計画期間のプロダクト・ミックス	最適順位
全製品	①→②→④→⑤→③又は④→⑤→③→①→② ①→②→④→③→⑤又は④→③→⑤→①→②
① 1.8ℓ(段ボール)が欠ける場合	②→③→⑤→④ 又は ③→⑤→④→② ②→⑤→③→④ 又は ⑤→③→④→②
② 1.8ℓ(木箱)が欠ける場合	①→④→⑤→③ 又は ④→⑤→③→① ①→④→③→⑤ 又は ④→③→⑤→①
③ 1ℓ(段ボール)が欠ける場合	①→②→④→⑤ 又は ④→⑤→①→②
④ 1ℓ(木箱)が欠ける場合	①→②→③→⑤ 又は ③→⑤→①→② ①→②→⑤→③ 又は ⑤→③→①→②
⑤ 630mℓ(段ボール)が欠ける場合	①→②→④→③ 又は ④→③→①→②

- 飛び込み、計画の変更によるスケジュールの乱れを吸収するために、1カ月間を上期(1~15日)、下期(16日~31日)に区分して、各期ごとに1サ

イクルのスケジュールを作成する。

(5) 日程計画の実施手順

以上、5つの原則のもとに次の手順で日程計画の作成が可能となった。

手順 1

充填ラインAに第7表に示す最適順位に従って、トンカツ・ソース(品種T<sub>1</sub>)のスケジュールを作成する。

手順 2

B, C, Dラインに第6表に示す最適組合せの順位に従って、T<sub>1</sub>の全製品のスケジュールを作成する。

手順 3

トンカツ・ソース(品種T<sub>2</sub>)のスケジュールを再び手順1, 2に従って作成する(T<sub>1</sub>の最後の製品の容器のサイズの型と、T<sub>2</sub>の始めの型が一致している)。

手順 4

AラインでT<sub>1</sub>のスケジュールとT<sub>2</sub>のスケジュールに間隙が生じた場合は、その間隙をウスター・ソース(U<sub>1</sub>とU<sub>2</sub>)で埋める。

手順 5

Aラインでスケジュールされていないウスター・ソース(U<sub>1</sub>とU<sub>2</sub>)を手順1に従うようにスケジュールする。

手順 6

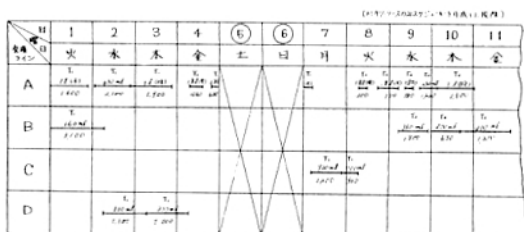
B, C, Dラインにウスター・ソース(U<sub>1</sub>とU<sub>2</sub>)のスケジュールを作成する。

上期(1~15日)生産計画 (%)

品別 生産 種別	A				B			C		D	
	1.8ℓ		1ℓ		630ml	360ml	200ml	900ml	700ml	900ml	300ml
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
T <sub>1</sub>	440 (0.3)	600 (0.4)	1,500 (1.0)	1,600 (0.9)	2,100 (0.7)	3,100 (1.2)	-	1,200 (0.7)	860 (0.4)	1,100 (1.2)	1,000 (1.0)
T <sub>2</sub>	300 (0.2)	750 (0.8)	1,500 (0.2)	360 (0.4)	1,200 (0.7)	1,800 (0.7)	2,100 (1.2)	1,000 (0.6)	1,100 (0.5)	630 (0.7)	1,200 (1.2)
U <sub>1</sub>	440 (0.3)	600 (0.4)	-	390 (0.2)	1,800 (0.6)	2,600 (1.0)	1,200 (0.7)	-	650 (0.3)	1,200 (1.3)	1,600 (1.5)
U <sub>2</sub>	300 (0.2)	600 (0.4)	560 (0.3)	940 (0.5)	-	770 (0.3)	1,900 (1.1)	2,000 (1.2)	2,500 (1.2)	720 (0.8)	720 (0.7)
小計	17,400(8.2)				13,470 (7.2)			8,410 (4.9)		8,170 (8.4)	
合計	48,450(ノベ 28.8日)										

( )内の数値は製品日数

上期スケジュール表



---の下の数値は製品日数(%)

(6) 実施結果

- ① 従来の経験を中心にした試行錯誤的な計画立案に比べて、スケジュールの手順が明確になった。
- ② しかし、手順に従ってスケジュールを作成した場合に発生する生産量の端数(翌日に僅少またがる場合や、逆に1日の終了時刻の少し前に完了する場合)の処理のため、生産量を一部切り捨てや増量の決定は、担当者の毎日の判断によらなければならない。
- ③ 1カ月間を上期, 下期の計画期間に区切り, 計画変更を防止したこと, 最適組合せと製造優先順位の明確化の3つが相伴って, 月間約10%の工数低減につながった。

IV 今後の課題

製造設備の建設当時、トンカツ・ソースの生産量は比較的少なく、月に1度一括生産すればよいという考えで、大型煮沸炉によるバッチ効果を狙った工程設計が、充填ラインとの融通性の欠如を生み、トンカツ・ソースの増大に伴い、日程計画を困難にした最大の原因と考えられる。従って、日程計画面だけから、人的、機械設備の有効活用を計るスケジュールの作成には自ずと限界があり、本論は、かかる設備改造が短期的には不可能であるという前提条件のもとに、より効果的なスケジュールの作成手順を模索、検討し、いくらかの効果は得られたが、次の事項が改めて認識されたと同時に今後に残された課題といえる。

- ① 工程間在庫が許されないバッチ式と連続式の連結した生産においては、融通性のある工程設計が必要であり、ただ単に、大型バッチ生産設備が全体効率を高めるものではない。
- ② かかる工程設計は、特に大型設備の場合、製造着手前に、長期の需要予測と需要の傾向を十分検討しないと、工程設計後の変更はむずかしく、設備効率を低下させる。
- ③ 品種、容器等の切替に伴う段取時間は、工程改善による短縮を計ると同時に、計画面からも短縮できる余地があり、段取時間の大小により製品を分類し、段取時間の大きい製品は在庫量を多くして段取回数を少なくさせる(たとえば1.8ℓ木箱の製品を製造しない場合、第4表に示す通り段取時間の合計は約2/3に短縮する)方法も検討の余地が残されている。

(参考文献)

1. Little, J.D.C K.G Murty "An Algorithm for the Traveling Salesman Problem" Operations Research, Vol.11 No.6 1963.
2. R.L. Ackoff M.W.Sasieni "Fundamentals of Operations Research" (松田武彦, 西田俊夫訳 "現代ORの方法" P.295~314 ネットワークの道順問題)