
自己構築型スケジューリングシステムに関する研究

16560357

平成 16 年度～平成 17 年度科学研究費補助金
(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成 18 年 5 月

研究代表者 藤村 茂

早稲田大学図書館

報生産システム研究科 助教授



260106001458

<はしがき>

本研究の目的は、日常の生産スケジューリング操作を通じて立案手法を習得する自己構築型の生産スケジューリングシステムを構築することである。従来のシステムでは、システムを利用する前に、スケジューリング業務で利用されるマスタ情報やスケジューリング手法をシステム上に初期設定する必要がある。そこで、これらの情報の初期設定を行う必要なくシステムを利用することができる仕組みについて研究を行う。まず、紙面上のガントチャートによる生産スケジューリング業務を模擬したガントチャートシステムの開発を行った。そして、種々のプロセスのスケジューリング業務に対してこのシステムを適用し評価を行った。この評価を通じて、マスタ情報を抽出するメカニズム、立案手法の手順を学習するメカニズムについて検討を行った。具体的には、本ガントチャートシステム上で、作業と呼ばれるスケジューリング対象（生産を行う処理の単位）の操作、作業間の関連を意識した時間移動操作などの履歴情報から有用な情報を自動抽出し利用するメカニズムを構築する仕組みを検討した。この仕組みは、生産プロセスの物理的な知識を自動構築するというアプローチとは異なり、種々の形態のスケジューリング手法に適用するために、ガントチャート上の作業群に対する操作を、図形操作情報として扱い、そのような情報を抽出し利用するというアプローチに基づいている。

研究組織

研究代表者：藤村 茂（早稲田大学大学院情報生産システム研究科）

交付決定額（配分額）（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 16 年度	1,500	0	1,500
平成 17 年度	1,600	0	1,600
総計	3,100	0	3,100

研究発表

(1) 学会誌等 なし

(2) 口頭発表

- ・ 藤村 茂, 禹 棋允: “生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”, 情報処理学会第 67 回全国大会論文集, 4 , pp. 607-610 (2005)
- ・ Shigeru Fujimura and Kiyun Woo: “Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work”, The 18th International Conference on Production Research, 31 July – 4 August 2005, University of Salerno, Italy (2005)
- ・ 清水 康弘, 藤村 茂: “生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”, 平成 17 年電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 615-616 (2005)
- ・ 藤村 茂: “業種によって異なる生産スケジューリング手法と自己構築型アプローチについて”, 日本学術振興会プロセスシステム工学第 143 委員会 平成 17 年度第 4 回研究会, 2005/12/9 (2005)
- ・ Hai Xue, XueRui Zhang, Yasuhiro Shimizu, Shigeru Fujimura: “Master Information Extraction Mechanism for Production Scheduling System”, International Conference on Electrical Engineering 2006, July 9-13 YongPyong Resort, Korea (2006)

(3) 出版物 なし

1. はじめに	1
2. ガントチャートシステム (GCS)	2
2. 1 モデル.....	2
2. 2 基本操作.....	3
2. 3 適用例.....	6
2. 4 まとめ.....	19
3. 自己構築型スケジューリングシステム.....	20
3. 1 ユーザ支援機能構築ガイドライン.....	20
3. 2 生産能力調整支援機能.....	23
3. 3 代替資源調整支援機能.....	25
3. 4 作業関係整合性調整支援機能.....	27
4. まとめ.....	30
参考文献.....	30

添付資料

- ① 藤村 茂, 禹 棋允: “生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”, 情報処理学会第 67 回全国大会論文集, 4 , pp. 607-610 (2005)
- ② Shigeru Fujimura and Kiyun Woo: “Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work”, The 18th International Conference on Production Research, 31 July – 4 August 2005, University of Salerno, Italy (2005)
- ③ 清水 康弘, 藤村 茂: “生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”, 平成 17 年電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 615-616 (2005)
- ④ 藤村 茂: “業種によって異なる生産スケジューリング手法と自己構築型アプローチについて”, 日本学術振興会プロセスシステム工学第 143 委員会 平成 17 年度第 4 回研究会, 2005/12/9 (2005)
- ⑤ Hai Xue, XueRui Zhang, Yasuhiro Shimizu, Shigeru Fujimura: “Master Information Extraction Mechanism for Production Scheduling System”, International Conference on Electrical Engineering 2006, July 9-13 YongPyong Resort, Korea (2006)

1. はじめに

消費者の需要構造の変化に伴い、製造業における生産管理機能は複雑化してきている。そして、生産管理機能で中枢を担う生産スケジューリング業務のシステム化が多く推進されている。生産スケジューリング業務は、対象とするプロセスや設備等の環境、製品需要や原料供給の構造などに従って著しく異なる。そのために、生産スケジューリングシステムの開発は、個々の対象に対して個別に行われる場合が多い。個々の生産環境に適用するために多くのカスタマイズが要求され、システムに対する多大な初期開発投資が必要となる。また、社会環境の急速な変化によって、システム要求仕様自身の変化をシステム開発期間中においても強いられる場合も少なくなく、更なる投資の必要性が発生したり、投資効果が薄れたりする場合もある。更に、このように開発されたシステムは、メンテナンスのために多くの投資が必要となる場合もある。

このような生産スケジューリングシステム開発の問題点を解決するためには、個々の対象に対し個別にシステム化を行う従来の手法から脱却し、システム開発の方向性を変えた新たなパラダイムを創出する必要がある。そこで、本研究課題では、日常の生産スケジューリング操作を通じて、システムが自らマスタ情報やスケジューリング手法を習得する自己構築型の生産スケジューリングシステムの構築を目指している。また、本システムは、多くのプロセスに適用可能である汎用性を兼ね備えるものとする。

生産スケジューリングシステム導入前、生産スケジューリング業務は、ガントチャート(資源単位に作業を割り付けるタイムチャート)を紙面上に描く、あるいは表計算ソフトウェアを利用して生産量を計算し生産の可能性を検証していた。まず、本研究では、ガントチャートを利用した生産スケジューリング業務がどのように行われているかを解析するために、紙面上の操作を模擬しユーザの操作形態を抽出できる基本システムとして、ガントチャートシステム(以下GCSと略す)を開発した[1][2]。第2章では、この基本システムGCSで扱うモデル、モデルに対する基本操作、そして、いくつかのプロセスに適用し汎用的な操作性の評価を行ったのでその内容を報告する[3]。

この基本システムGCSを用いて、日常の生産スケジューリング操作を通じて、システムが自らマスタ情報やスケジューリング手法を習得する自己構築型の生産スケジューリングシステムを構築した。この自己構築型の生産スケジューリングシステムについて第3章で述べる。まず、マスタ情報やスケジューリング手法に関連する情報を抽出しユーザへの支援機能として利用する方法のガイドラインについて提案する。そして、このガイドラインに従って提案するいくつかのユーザ支援機能の実現方法について紹介する[4]。

2. ガントチャートシステム (GCS)

2. 1 モデル

GCSは、スケジューリングの対象として文献[5]で示されている生産計画・スケジューリングの3階層（戦略／戦術／運転）における運転階層を対象とする。運転階層のスケジューリングは、戦術階層からの制約条件のもとで詳細な生産スケジュールを作成するものである。

GCSは、自己構築型の実産スケジュールシステム構築を目的としているために、このような運転階層における幅広い種類の生産スケジュール業務の形態に対応できるように開発する必要がある。そこで、まず、種々のスケジューリング業務で扱う汎用的なモデルを整理する。

スケジューリングで扱うモデルは以下の要素によって構成される。

- ① 資源 (Resource) : 作業員, 設備, 治具など, 作業を行うために必要とされるもの。
- ② 作業 (Operation) : 生産を行う処理の単位であり, その処理のためには, いくつかの資源が利用される。スケジューリングは, 作業を行うための資源と処理時間を決定することである。
- ③ タスク (Task) : 作業は1個の主タスクと0個以上の副タスクからなる。タスクは1個の資源を利用する。
- ④ 作業連鎖 (Operation Chain) : ある製品を生産するために必要な作業のつながりである。

作業連鎖は、MPS (Master Production Schedule) に従って生成される。MPS はあらかじめ決定され変更できない場合と、一旦与えられたものが変更される場合がある。変更される場合としては、初期の MPS の情報がスケジューリング後に外的要因によって変更される場合と、スケジューリング状況に応じて変更される場合がある。また、MPS は総量の生産量として与えられるために、スケジューリング対象としては、ロットサイズ制約によって、いくつかの作業連鎖に分割しなければならない。このように、作業の生成、削除、作業の情報の変更を、ガントチャート上で動的に行う必要がある。

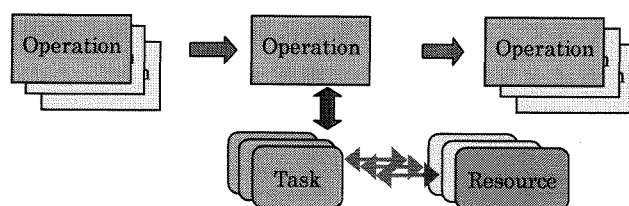


Fig.1 Model for production schedule

2. 2 基本操作

以下では、GCSで用意する基本操作を説明する。基本操作は、紙面上で行うスケジューリング操作をコンピュータ上で行うことを可能とし、コンピュータ上で実現できる単純なユーザ支援機能も含む。これらの基本操作はログとして蓄積され、スケジューリング操作履歴の解析に利用できる。

GCSの概観は Fig.2 のとおりであり、上部のガントチャート部と、下部の作業属性リスト部に分割される。ガントチャート部は、縦軸が資源で横軸が時間のガントチャートを表示しマウスによって基本操作を行うことができる。作業属性リスト部は、ガントチャート上の作業群の属性情報を表示・更新するためのものであり、作業属性リスト部の情報とガントチャート部の情報は相互に更新情報が反映される。

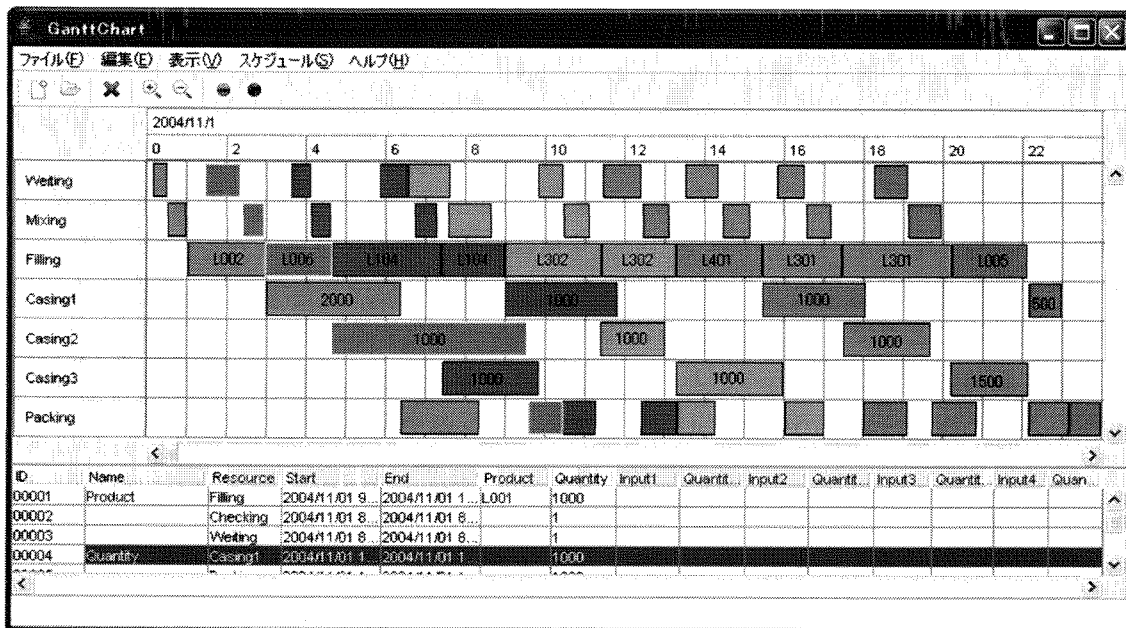


Fig.2 Gantt Chart System

以下では、ガントチャート上での基本操作を説明する。

(1) 作業の生成・コピー・削除、タスクの生成・削除

ガントチャート（縦軸：資源，横軸：時間）上において，任意の時間間隔に対して作業を生成できるものとし，初期生成された作業は主タスクとともに生成される．生成の際には，利用する資源が指定され，その資源が主タスクの資源として登録される．生成された主タスクに対して，副タスクを利用資源の指定とともに追加することができる．また，作業は開始時刻および処理時間の情報を持ち，これらの値はすべてのタスクで共通である．

生成された作業は，コピー・削除できる．コピー・削除の際は，主タスクのみならず副タスクも同時にコピー・削除される．副タスクを個別に削除することもできる．

作業の属性としては，作業開始時刻と作業処理時間の他に，生産品目群（主生成物，副生成物群の品目）と生産数量（生産品目群に対応），原料品目群と原料数量（原料品目群に対応）を指定することができる．開始作業時刻と作業処理時間の属性以外の属性は，すべて設定する必要はなく，スケジューリング上必要に応じて設定することができる．作業に属す各タスクは，属性として，利用する資源，表示属性（表示文字列，表示色など）の情報を持つ．

(2) 作業のグループ化

複数の作業をグループ化して作業グループとして定義することができる．ガントチャート上でタスク群を選択することによって，そのタスクが含まれる作業を指定し，その作業群をグループ化することができる．このように作業をグループ化することによって，複数の作業群に対して同時に基本操作を行うことができるものとする．また，作業グループの解除も行える．ひとつの作業は複数の作業グループに含めることができる．

(3) 作業時間移動

作業あるいは作業グループをマウสดラッグによって移動することができる．移動の際には，移動したい時刻（ブロック点）を指定しその時刻に移動することができる機能（ブロッキング機能）を用意する．ブロック点を指定するためには，以下の2つの指定方法を用意する．

- ・ 他の作業の開始時刻あるいは終了時刻（これらを境界時刻と呼ぶ）を指定する．また，指定された時刻から一定時間移動した時刻に指定時刻を変更することも可能である．
- ・ 任意の時刻を指定する．

指定されたブロック点に対して，移動点（マウスで指定する作業の境界時刻）をドラッグしてブロック点まで移動することができる．作業グループに対する時間移動では，移動点を指定した作業以外のグループ内の他の作業も移動点を指定した作業と同一時間移動する．

(4) 資源移動

タスク単位，あるいは同一資源を利用するタスク群に対して，資源を変更することができる．その際，作業の開始時刻は固定とする．

(5) 作業処理時間調整

作業あるいは作業グループによって指定された作業群に対してそれらの作業処理時間を調整可能とする．時間移動と同様ブロック点を指定することによって作業の開始時刻あるいは終了時刻を変更することができる．作業群に対する作業期間調整では，移動点を指定した作業以外の他の作業も移動点を指定した作業と同一比率で作業処理時間が調整される．

(6) 結合／分割

同一資源を利用している作業を結合する．また，作業を分割できるものとする．分割された作業は(7)境界変更で時間比率を調整することができる．

(7) 境界変更

同一資源を利用し，同一時刻が境界時刻（作業の開始時刻あるいは終了時刻）である場合，境界時刻で指定された複数の作業の境界時刻を同時に変更できる．作業群の場合は，対象指定作業の収縮比率に従ってグループ内の他の作業も作業処理時間を修正する．

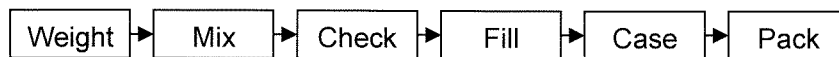
2. 3 適用例

スケジューリング手法の異なる2つのプロセスに対してGCSを適用して、GCSの評価を行った。以下では、その概要を説明する。

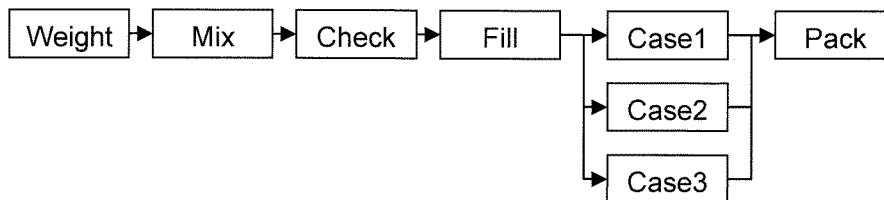
2. 3. 1 バッチ製造プロセス

ボトルネック工程が存在するバッチ製造プロセスに対して適用評価を行った。Fig.3(a)にこの製造プロセスの工程の流れを示す。工程は、秤量(Weighting)、混合(Mixing)、粘度チェック(Checking)、充填(Filling)、箱詰め(Casing)、梱包(Packing)の6つの工程である。このプロセスで製造する製品はすべてこれらの同一の工程の流れによって製造される。工程の流れは同一であるが、製品によって各工程の処理時間が異なる。また、箱詰め工程のためには3つの資源が用意されているので、その中で一つの資源を利用する。生産オーダー(製品品目、数量)に対して、これらの工程の流れに従って作業を生成し資源を割り当て、これらの作業のスケジュールを作成する。

このプロセスでは、ボトルネック工程を充填工程であるとする。ボトルネック工程の上流の工程では、バッチの生産形態、ボトルネック工程より下流の工程は、連続型の組立て生産形態のプロセスであるとする。充填工程の資源は連続して利用するという制約条件と、充填工程がボトルネック工程であることを仮定し、スケジューリング手順としては、充填工程からスケジューリングを行うものとする。そして、他の工程に対しては、ボトルネック工程のスケジュールをある程度確定してからそれを基準とし時間的に重複しないようにスケジューリングを行うものとする。



(a) Process Stage Flow



(b) Resource Configuration

Fig.3 Example for Batch Process

以下では、このバッチ製造プロセスのスケジューリングの手順例について説明する。

① 生産オーダーの情報に従って1つの製品の作業群を割付ける。

1つの生産オーダーの作業連鎖に対応する6つの作業を生成し、その処理時間を数量に応じて調整する。そして、ブロック機能を利用して、工程間の先行関係制約に従って前工程の終了時刻と後工程の開始時刻を合わせ、Fig.4 に示すようなスケジュールを作成する。このように生成され調整された作業群をまとめて扱うためにグループ化しておく。

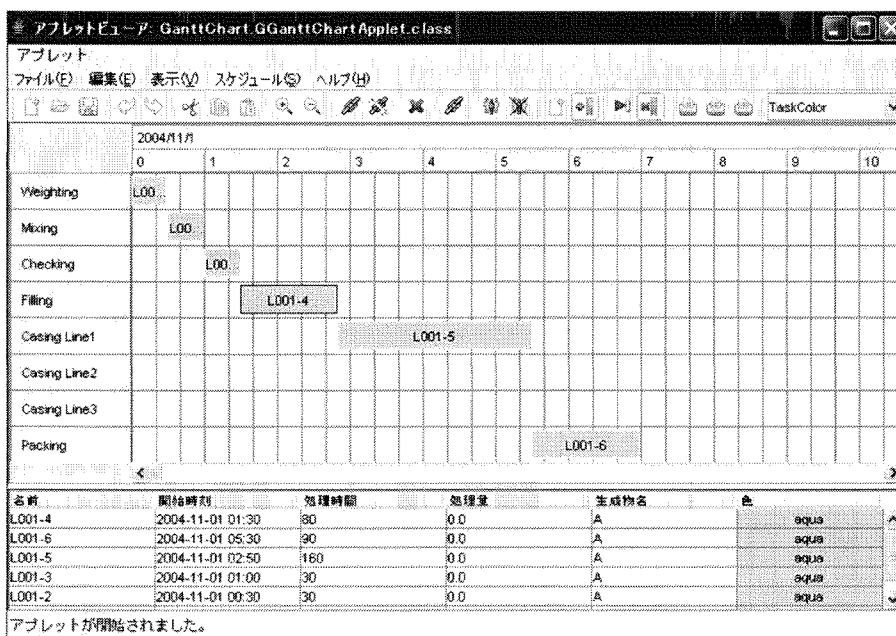


Fig.4 Scheduling Step ①

② 既に作成された作業連鎖をコピーして他の作業連鎖を作成する。

本プロセスでは、生産オーダーに対応する作業連鎖は同一の工程のつながりであるために、①で生成された作業連鎖をコピーして他の生産オーダーに対応する作業連鎖を生成し、処理時間を調整していく。

①で生成された作業連鎖のグループを選択しコピーし、各作業の色を作業属性リスト部で修正した状態を Fig.5 に示す。このように生成された作業群に対して、作業属性リスト部で生産オーダーの数量に適した処理時間に調整を行う。更に、工程間の先行関係を満足するように作業間の時間を調整する。

このプロセスでは、充填工程がボトルネック工程であるために、まず、充填工程に注目してスケジュールを決定する必要がある。そのために、①で作成された作業連鎖の充填工程の作業の終了時刻にブロック点を設定し、ブロッキング機能を利用して新しく生成した作業連鎖の充填工程の開始時刻を合わせる。

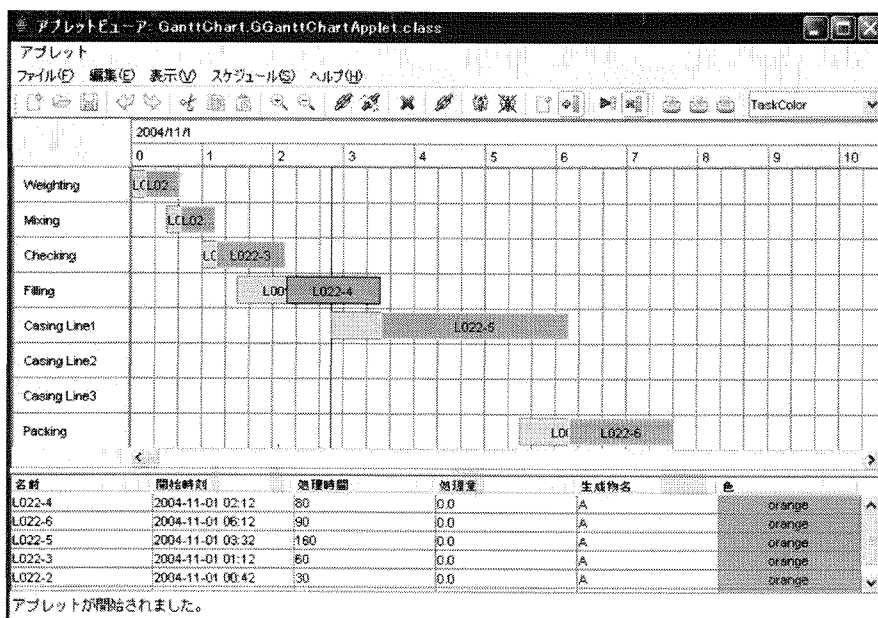


Fig.5 Scheduling Step ②

③ 生産オーダーに従って作成された作業連鎖の順番を調整する。

生産オーダーに従って生成された作業連鎖の順番を調整するためには、作業連鎖の作業グループを選択し、充填工程の作業の開始時刻あるいは終了時刻をブロック点として選択しブロック機能を利用して順番を入れ替える。このプロセスの場合、充填工程の順番をできるだけ、同一製品を連続させるように設定する必要があるが、一方、製品によって粘度チェック工程の処理時間が著しく異なるために、充填工程を連続させて処理させるためには、粘度チェック工程の時間的な重複競合が生じている場合は、作業連鎖の順番を入れ替え手、競合を回避しなければならない。充填工程、粘度チェック工程を考慮した順番が決定されると、次に箱詰め工程の資源に競合が発生しないように、3つの資源の利用方法を決定する。更に梱包工程の時間的な重複競合が生じている場合は、梱包工程の作業を遅延させてその競合を回避させる。

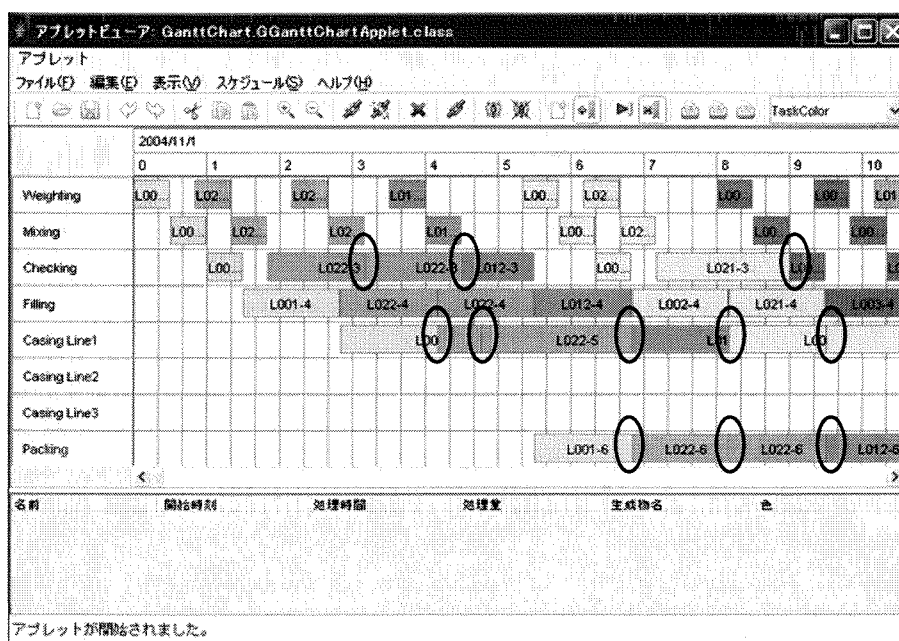


Fig.6 Scheduling Step ③

④ 全体のスケジュールを調整する.

このプロセスの場合、粘度チェック工程より上流の工程で利用する資源は比較的稼働率が低いために、スケジュールの調整は容易である。そこで、これらの工程の調整は粘度チェック工程より下流の工程のスケジュールが決定してから調整することになる。また、粘度チェック工程は、生産ロットによっては処理時間が大きく異なるような不確実性を含んでいる。そこで、生産ジョブの状況に応じて多少の余裕を持たせてスケジュールを決定することが考えられる。このような調整を行うことによって最終的なスケジュールを得ることができる (Fig.7).

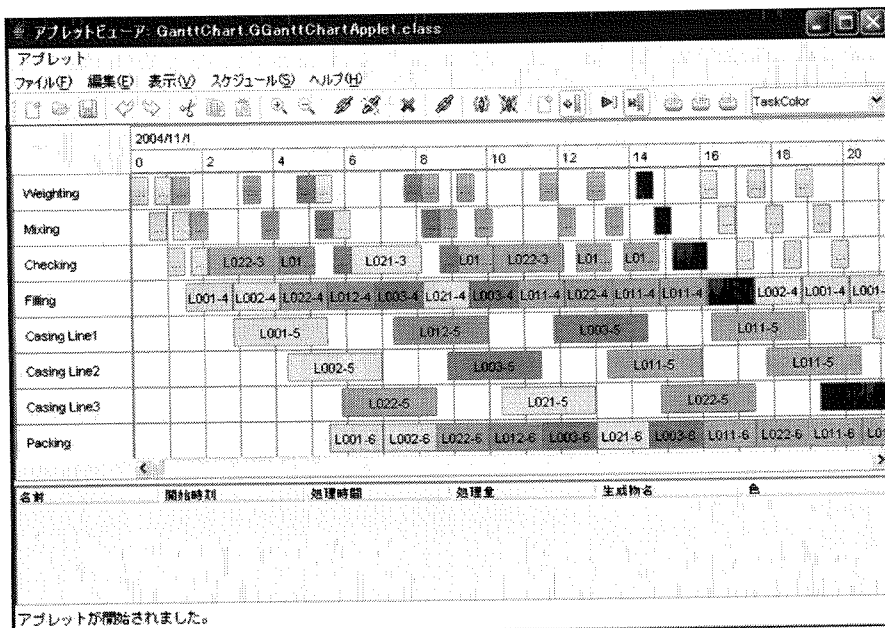


Fig.7 Scheduling Step ④

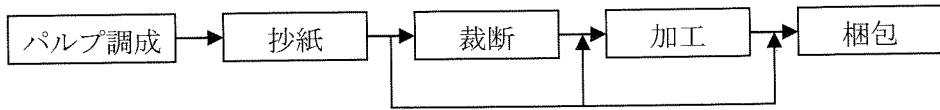
2. 3. 2 製紙プロセス

製紙プロセスに対して適用評価を行った。Fig.8(a)にこの製造プロセスの工程の流れを示す。工程は、パルプ調整、抄紙、裁断、加工、梱包の工程からなる。紙の原料となるパルプを配合するパルプ調成工程と配合したパルプを使って紙を生産する抄紙工程は、連続的に処理される連続プロセスである。この例の場合、3つの系列の機械群を持っている。巻取りの状態で納品する場合は、この連続プロセスが終了すると製品が出荷される。コピー用紙などは、裁断・加工・梱包の工程を経て製品として出荷する。パルプ調成工程・抄紙工程の連続プロセスは、調成方法・抄紙方法・コーティング方法・中間品の形態の違いによってグループ化して製造を行う。

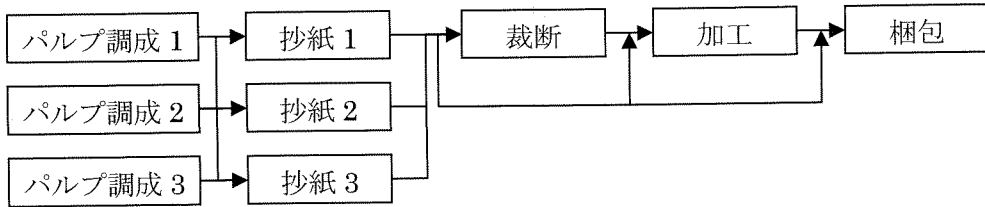
一般に、製紙プロセスでは、生産能力は抄紙機の能力に依存する。そのために、製紙プロセスのスケジューリング業務では、抄紙機の利用方法を決定することが最も重要である。通常、製紙プロセスでは、複数台の抄紙機が利用される (Fig.8(b))。各抄紙機で製造される製品の順番、抄紙機間で製造される製品の組合せは、抄紙工程の下流工程である裁断、加工、梱包工程に影響を与えるため、スケジューリング業務では、これらの下流工程の状況を考慮しながら抄紙機のスケジュールを決定しなければならない。

製紙プロセスのスケジューリング業務では、まず、スケジューリング対象期間に生産する製品ごとの総生産数量が与えられ、それに対して、資源の処理能力や製品供給タイミングの要求などを考慮して総数量を分割し生産を行う資源やタイミングを決定しなければならない。そのために、ガントチャート上での作業の処理数量の調整を試行錯誤的に行い全体のスケジュールを確定していく処理が行われている。

生産する製品は、新聞紙、コピー用紙、ティッシュペーパー等様々である。抄紙機は、新聞紙を製造する機械、コピー用紙を製造する機械等、ある程度用途が決定されている場合がある。また、製品に対する抄紙機の相性が存在する場合もある。



(a) Process Stage Flow



(b) Resource Configuration

Fig.8 Example for Paper Manufacturing Process

以下では、製紙プロセスのスケジューリングの手順例について説明する。

まず、このプロセスの例で用いる生産オーダー情報とプロセスの制約条件と優先条件について説明する。

生産オーダー情報は、1週間単位に Table1 のとおり製品毎の生産数量として与えられる。製品は、A（新聞紙）・B（コピー用紙）・C（ティッシュペーパー）の3つの製品グループに分けられる。生産数量は、生産目標量として与えられ、その与えられた数量にできるだけ近づけるようにスケジューリングを行う。

Table 1 Production Orders

製品グループ	量(t)	製品	量(t)
A：新聞紙	1,730	A1	1,260
		A2	470
B：コピー用紙	5,500	B1	1,200
		B2	800
		B3	700
		B4	1,500
		B5	300
		B6	500
		B7	500
C：ティッシュペーパー	1,450	C1	750
		C2	700

(平均) 生産能力 1,240t/day

プロセスの制約条件，優先条件として以下の要素があげられる．

- ・ 連続プロセス（パルプ調成，抄紙）では，抄紙機（複数台存在）の生産能力に従って生産量の上限が制限される．各抄紙機に対する製品毎の処理能力を Table2 に示す．
- ・ A グループ製品（A1, A2）のパルプ調成はできるだけ同一製品を連続して処理したい．
- ・ B4, B5, B6 は加工工程が複雑なため，並行作業を行いたくない．そこで，複数の抄紙機で同時にこれらの製品を生産しないようにすべきである．また，B グループの他の製品ともできれば並行作業を行いたくない．
- ・ C グループの製品はいつでも製造可能である．

Table 2 Production Capacity of Machines

製品グループ		製品	処理能力(t/day) (－：利用不可)		
大グループ	中グループ		抄紙機 1	抄紙機 2	抄紙機 3
A	A1	A1	250	450	－
	A2	A2	110	220	－
B	B1/B2/B3	B1	350	700	－
		B2	350	700	－
		B3	350	700	－
	B4/B5/B6	B4	－	700	700
		B5	－	700	700
		B6	－	700	700
	B7	B7	－	700	700
C	C1/C2	C1	－	－	400
		C2	－	－	400

これらの条件を考慮してスケジューリングを行うために，スケジューリング用の製品グループとして中グループを設定する．中グループは，概略スケジュールをまず立案するために利用して，このスケジュールを詳細スケジュールにブレイクダウンしていくためのものである．そのために，中グループは，利用可能資源，処理能力や制約条件・優先条件の扱いが類似している製品をまとめる．Table2 に示すように，A1, A2, B1/B2/B3, B4/B5/B6, B7, C1/C2 の6つのグループに分割して利用する．

以下では、このような製紙プロセスの例について、スケジューリングの手順を説明する。

① 中グループ毎に作業を資源に割り付ける。

中グループの作業を利用可能な資源の一つに割り付ける。その際、作業間に時間的な隙間が生じないように作業を割り付ける。そのためには、ブロッキングの機能を用いる。このように割り付けられた作業から、指定された処理可能期間(スケジューリング対象期間)に対して、製品オーダ情報で指定された生産量の製品が生産可能かどうかを確認する。

以下では、この例の場合のスケジュール方法について説明する。A1,A2 のグループは抄紙機 1, 2 が利用可能であるが、生産能力の高い抄紙機 1 に割り付けた状態を確認している。また、B1/B2/B3, B4/B5/B6, B7 の中グループは、B4/B5/B6 グループの加工工程の制約から、できるだけ1つの抄紙機で生産したいという考え方から、共通して割り付けることができる抄紙機 2 に対して割り付け、その状態を確認している。C1/C2 グループについては、抄紙機 3 のみ利用可能であるために、抄紙機 3 に割り付け、抄紙機 3 の利用可能時間を確認している。

この例の場合、A グループの生産量が多いため、一部の製品を抄紙機 2 に移動する必要があることが分る。また、抄紙機 2 においては、この生産量と既に割り付けられている B グループの製品の生産をすべて行うことはできないので、B グループの一部の製品を抄紙機 3 に移動することが必要であることが分かる。

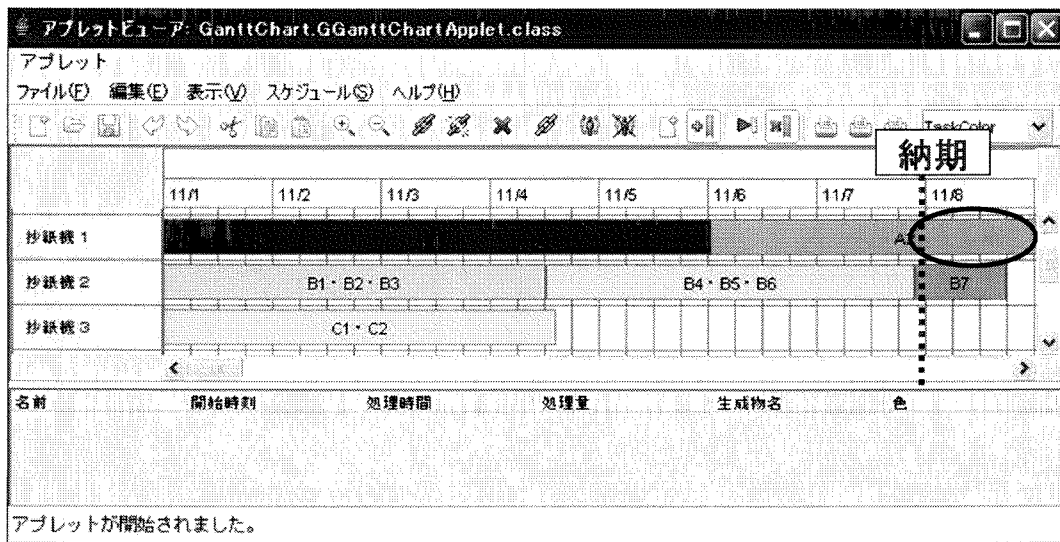


Fig.9 Scheduling Step ①

② スケジューリング対象期間で生産できない作業を調整する。－ (1)

まず、A2あるいはA1の生産の一部を抄紙機2に移動することを考える。この例の場合は、A2の一部を抄紙機2に移動している。この操作は、まず、A2の作業に対して分割を行い、一部を抄紙機2に移動する。そして、処理能力に従って処理時間を調整する。
 Aグループ製品(A1, A2)のパルプ調成はできるだけ同一製品を連続して処理したいという優先条件に従って、抄紙機2での生産は、抄紙機1でA2を生産する直前に配置することになっている。抄紙機2ではA2とB4/B5/B6の中グループが時間的に競合を起こしている。

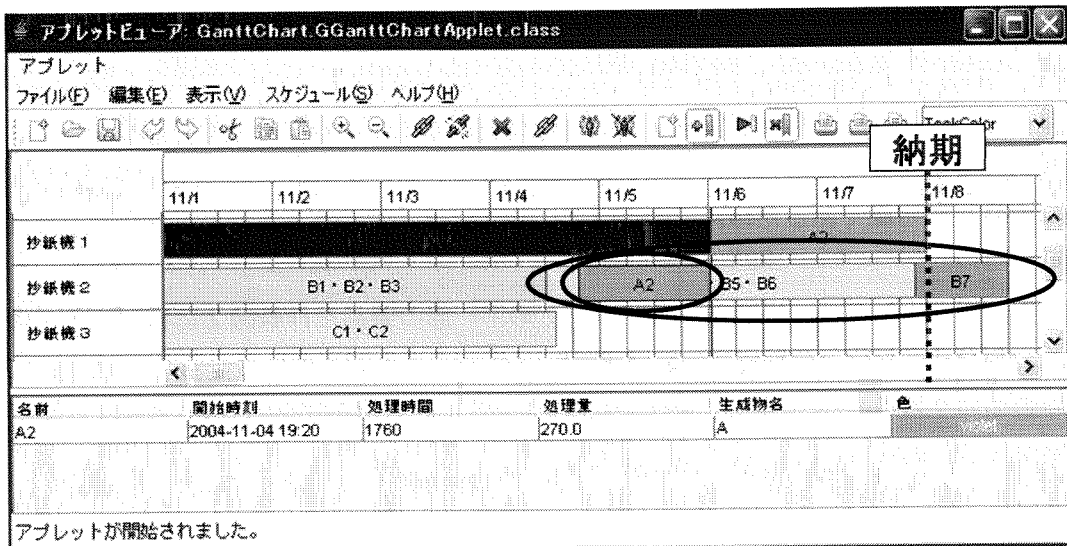


Fig.10 Scheduling Step ②

③ スケジューリング対象期間で生産できない作業を調整する。－ (2)

A2 を抄紙機 2 で処理するように変更したことによって、B4/B5/B6 の中グループが時間的に競合を起こしている。そこで、B4/B5/B6 の中グループの作業を分割し一部を抄紙機 3 で処理するように変更する。B4/B5/B6 の中グループは、できるだけ抄紙機間で並行して処理をしないようにしたいので、Fig.11 のように割り付ける。また、B7 の作業も抄紙機 3 で処理するように変更する。B7 と B4/B5/B6 の中グループの並行処理については、全体の能力から回避できないのでそのままにしておく。

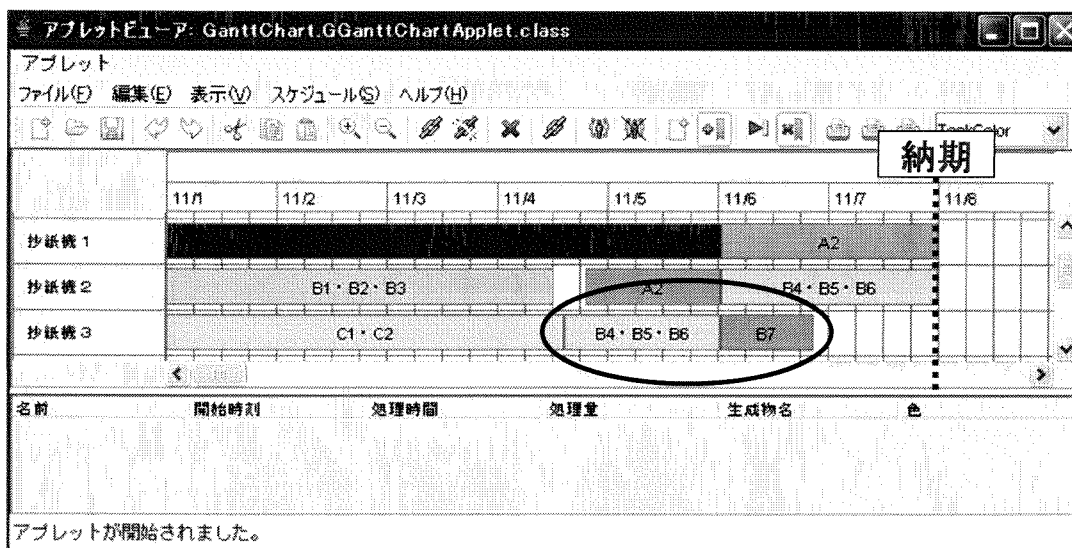


Fig.11 Scheduling Step ③

④ 製品単位に分割し調整を行う。

中グループの作業の配置に対して、製品の数量に従って中グループの作業を分割し、時間の調整を行う。抄紙機 1, 抄紙機 2 については、中グループから製品単位に分割し、製品単位の順番を単純に決定している。抄紙機 3 については、C1, C2 の分割を行い、単純に処理順番を決定し、B5/B6/B4 の中グループも分割している。B7 については、B4/B5/B6 の中グループとできるだけ並行して処理をしたくないという優先条件を考慮し、C2 と順番を交換して割り付けている。その結果、B7 は B3 と並行処理されている。

このような調整を行うことによって最終的なスケジュールを得ることができる (Fig.12)。

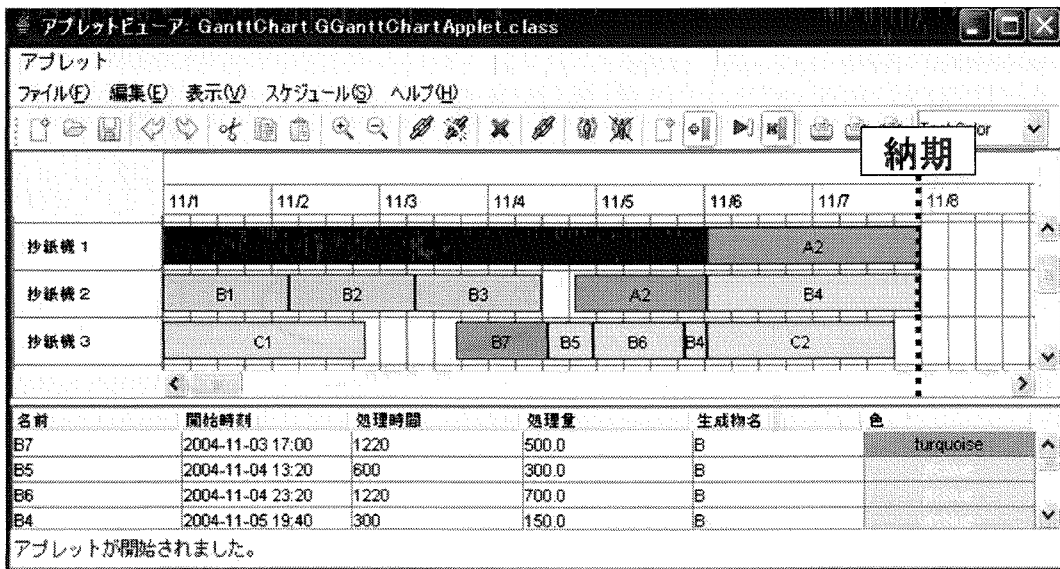


Fig.12 Scheduling Step ④

2. 4 まとめ

バッチ製造プロセスの適用例では、個々の生産品目は作業連鎖が類似しているために、グループ化の機能を用いて品目の作業連鎖やいくつかの作業のまとまりを再利用することにより、少ない操作でスケジュールを立案することができている。このような方法は、従来のスケジューリングシステムとは異なり、煩雑なマスタ情報を入力する必要がなく、多品種でライフサイクルが短い製品を生産する場合に特に有効であると考えられる。また、ボトルネック工程の生産順序の入れ替え、上下流工程の作業時間調整、あるいは資源の割り当て調整などのような操作を、実際のスケジュール作成者のスケジューリング手順に合致した手順で行うことができることは、自由なスケジューリング手法に対応でき、種々のプロセスに適用が可能であると考えられる。

製紙プロセスの適用例では、上記のスケジューリング手法とは異なり、総量の生産量が与えられ、生産オーダーへの分割をスケジューリングの際に決定するような概略スケジュールから詳細スケジュールにブレイクダウンしていく手法が用いられる。そのような場合、作業単位の分割および結合の機能、グループ化、ブロック機能、スケジュール立案作業時の試行錯誤の過程で非常に重要であり有効であることが確認できた。現在は、作業分割の際、処理時間で分割する機能を想定しているが、数量を指定して分割できる機能を更に実現することによって、より有効な支援機能になると考えられる。

3. 自己構築型スケジューリングシステム

自己構築型スケジューリングシステムとは、スケジュール立案過程において行われる操作からその後の立案過程において有益となる情報を抽出し、その情報を利用してスケジュール立案過程を支援する機能を有するシステムとして位置付ける。このような有益な情報を抽出し、その情報を利用してユーザ支援を行う機能の実現にあたって、まず、ユーザ支援機能構築のガイドラインを設定し、そのガイドラインに従ってユーザ支援機能を構築するものとする。本章では、まず、このようなガイドラインについて説明し、次に、そのガイドラインに従ったユーザ支援機能の例を紹介する。

3. 1 ユーザ支援機能構築ガイドライン

3. 1. 1 ユーザ支援機能で利用する情報

スケジュール立案過程で有益な情報、言い換えればユーザ支援機能を実現するために利用される情報は、静的な情報と動的な情報に分けられる。静的な情報とは、従来のスケジューリングシステムにおいてマスタ情報としてあらかじめシステムに与えられる情報であり、スケジューリングの際に利用される制約条件や優先条件である。それに対して動的な情報は、生産する製品の構成や量、生産を取巻く様々な状況に応じて変化するスケジュール立案時に関連付けられる情報である。

(1) 静的情報

- ・ 作業で利用する原料と生成される製品の関連と数量比
- ・ 作業の処理時間と生産数量の関係
- ・ 作業の歩留り
- ・ 作業の利用可能資源
- ・ 作業切替時間
- ・ 作業切替可能時間帯
- ・ 作業禁止時間帯
- ・ 資源負荷上下限、在庫上下限

(2) 動的情報

- ・ 作業・タスクの追加・コピー・削除
- ・ 作業の数量・時間の変更
- ・ 作業の開始時刻、終了時刻の変更
- ・ 作業の順序・作業間の時間間隔の変更

3. 1. 2 ガイドライン

本システムで扱う情報のモデルは、スケジュール情報を自由に扱うために、製造プロセス毎に異なる情報を一般化したモデルを構築するのではなく、製造プロセス的な意味をできる限り排除し、単なる数値、状態間の関連を扱うような単純なモデルにすることを原則とする。そして、本システムの自己構築機能を実現するために、抽出され、そして利用される情報は以下の4つのガイドラインに従って扱われることを原則とする。

(1) 学習 (Learnable)

ユーザの操作を学習する場合、情報を抽出する形態として以下の2つの形態を想定する。

- ・ ユーザが繰り返し行う操作を抽出し、その操作情報から一般化した操作情報を学習する形態である。繰り返し行いたい操作を、繰り返し操作することなく所望の操作を行うことができるようにユーザ操作を支援するために学習を行う。この学習対象の情報は、主に静的情報が多く、繰り返し行われる操作を抽出し、一般化した情報として集約し蓄積しなければならない。同一対象に対する同一操作を抽出し学習することは容易であるが、同一でない対象（同一の属性を持つ同一種類の対象）に対する操作や、同一でない操作（同一の意味を持つ同一種類の操作）の抽出や学習は、操作対象および操作内容の抽象化に関する整理が必要である。
- ・ 繰り返し行われませんが、意図的に行った操作情報を抽出し、その操作情報自身を学習する形態である。意図的に操作を行った対象に対して他の操作を行った際に、意図的に行った操作との整合性を取る所望のユーザ操作を支援するために学習を行う。この学習対象の情報は、主に動的情報が多く、個々の操作を抽出し、その情報自身を蓄積しなければならない。意図的に行われた操作であるかどうかを判断する必要がある。

(2) 活用 (Practical)

学習された情報を活用する形態として以下の3つの形態を想定する。

- ・ 自動設定に活用する。
操作を行う際に、学習された情報を設定条件、制約条件、優先条件として利用し、それに基づいた情報を自動設定する。
- ・ 違反警告に活用する。
学習された情報に違反する操作を行った場合、学習した情報を提示して違反警告を行う。
- ・ 優先情報の提示に活用する。
操作を行う前に、学習した情報に基づいて可能性のある操作候補を提示し、ユーザが選択できるようにする。

(3) 自由 (Free)

設定上の制約を設けないものとし、自由な設定が行えるものとする。そのために、自動設定された情報を解除することができなければならない。また、学習した情報に違反する操作も制限しないものとする。

(4) 忘却 (Discarding)

学習された情報であっても新しく学習した情報と矛盾が生じた場合や、利用されなくなった場合、そのような情報を削除するものとする。

3. 2 生産能力調整支援機能

3. 2. 1 機能

作業の属性としては、作業開始時刻と作業処理時間の他に、生産品目（主生成物、副生成物群）と生産数量（生産品目に対応）、原料品目群と原料数量（原料品目に対応）などが指定される。作業の処理時間はスケジュール情報として必須であるが、生産品目、生産数量、原料品目、原料数量は、必要に応じて設定されるべき属性である。例えば、在庫数量の変化情報をスケジューリングの際に参照したい場合は設定すべきである。

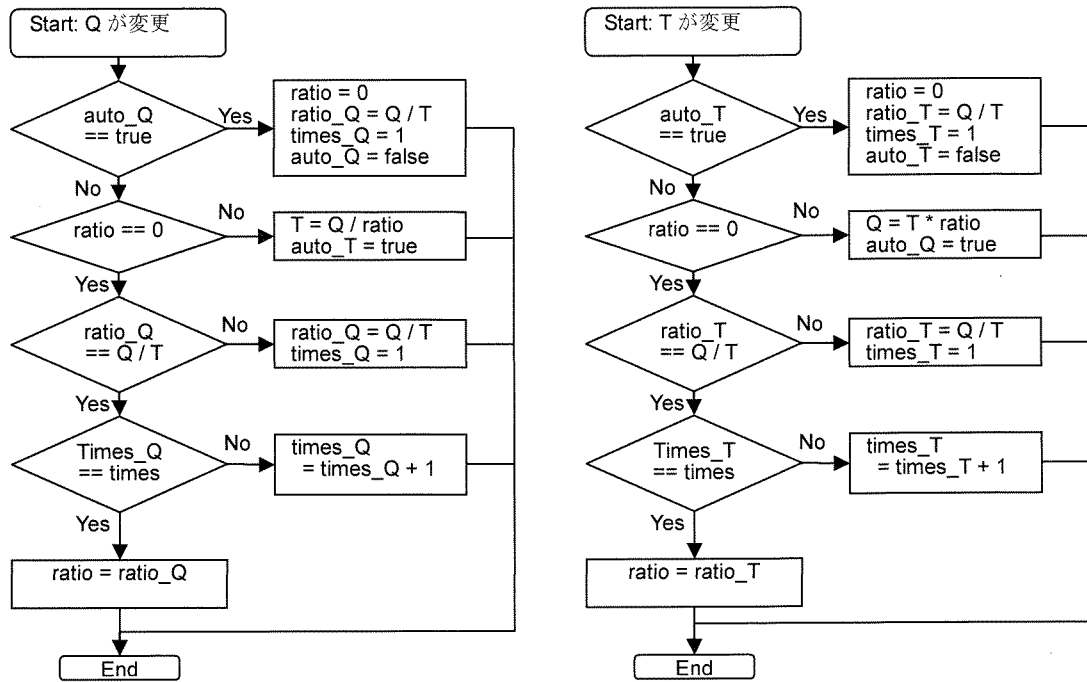
作業処理時間と生産数量の間には比例関係（処理能力＝生産数量／作業処理時間）が存在する可能性がある。そのような比例関係が存在する場合、処理能力を学習し、作業処理時間の変更あるいは生産数量の変更がある場合、相互に値を処理能力に従って計算し自動設定する機能である。本機能は、関係を修正する場合や誤操作に対しても対応する必要がある。

3. 2. 2 学習と利用方法

作業を生成する場合、作業生成後にまず作業時間の調整を行う。このようにして生成された作業に対して生産数量の設定を行うことができる。作業時間と生産数量の比例関係を数回の設定操作を通じて学習し、その比例関係から得られる処理能力の情報を保持して、その情報を利用してどちらかの情報が変更された場合、他方の情報を自動変更する機能を実現する。この機能は、作業時間と生産数量の2つの情報の双方向に機能するものとする。

学習形態としては、あらかじめ設定された回数、同一値の処理能力が繰り返し設定された場合、処理能力が自動設定に利用されるものとする。活用形態としては、学習した処理能力を用いて、作業時間あるいは生産数量のどちらかの値を変更した際に、他方の値を更新するものとし、これらの値が比例関係にある作業の場合、ユーザの繰り返し操作を軽減することができる。学習された処理能力によって自動設定された情報（作業時間あるいは生産数量）に対してユーザは値を変更することができるものとし、ユーザ操作の自由度は奪わない。また、その際、学習した情報は破棄されるものとする。

このような機能を実現するアルゴリズムを Fig.13 に示す。



- Q: 生産数量
 T: 作業処理時間
 ratio: 学習された処理能力
 ratio_Q: 生産数量を変更した場合に設定される仮の処理能力
 ratio_T: 作業処理時間を変更した場合に設定される仮の処理能力
 times: 処理能力を学習するために同一の仮の処理能力が設定される繰り返し回数
 指定された回数, 同一の値が仮の処理能力に設定されれば, 学習を終了し,
 自動設定で利用する処理能力を設定する.
 times_Q: 生産数量の変更によって同一の値が仮の処理能力に設定された回数
 times_T: 作業処理時間の変更によって同一の値が仮の処理能力に設定された回数
 auto_Q: 生産数量の変更が前回自動で行われたか否かを示すフラグ
 auto_T: 作業処理時間の変更が前回自動で行われたか否かを示すフラグ

Fig.13 Algorithm for Setting Quantity and Time of an Operation

3. 3 代替資源調整支援機能

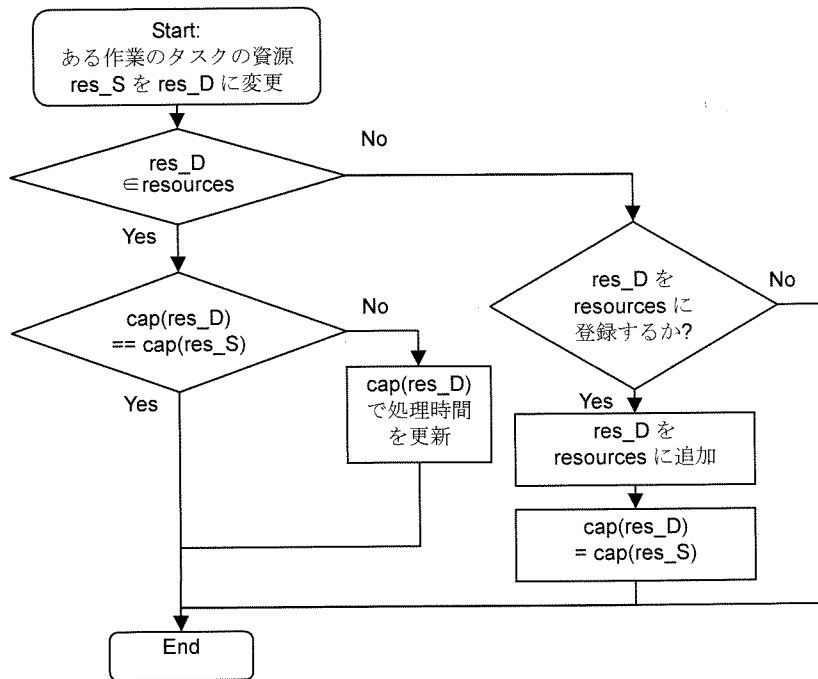
3. 3. 1 機能

作業は作業処理時間と製品の生産数量が指定され、作業は一つ以上のタスクからなり、タスクは利用する資源が指定される。各タスクの資源は代替可能な他の資源に変更することができる。

主タスクについては、資源毎に異なった処理能力を設定することができるものとし、主タスクの資源が変更されることによって、以前代替資源として設定したことがあり、その資源に対して異なる処理能力が設定されている場合は、代替資源への変更の際、その処理能力に従って作業処理時間が設定されるものとする。また、代替資源として変更することによって代替資源群として登録されるものとして、代替可能資源を表示する支援機能も実現する。

3. 3. 2 学習と利用方法

学習形態としては、代替資源を設定した時にその情報を登録する。活用形態としては、学習した主タスクの処理能力に応じて、代替資源への変更の際に作業時間を更新するものとし、ユーザの繰り返し操作を軽減することができる。学習された処理能力によって自動設定された情報（作業時間あるいは生産数量）に対しては、3. 2で述べたとおり、ユーザは値を変更することができるものとし、ユーザ操作の自由度を奪わない。また、代替可能資源群として登録できる資源の数はあらかじめ設定しておき、その数以上の資源を登録しようとした場合は、最も利用頻度の少ない登録時期の古い資源を登録から削除する。代替資源への変更時の学習・情報利用機能を実現するアルゴリズムを Fig.14 に示す。



Res_S: 変更前資源
 Res_D: 変更先資源
 resources: 代替可能資源群
 cap(res): 資源 res の処理能力

Fig.14 Algorithm for Changing to Alternative Resource

3. 4 作業関係整合性調整支援機能

3. 4. 1 機能

GCSでは、生成された複数の作業間の時間的な関係を修正するためには、ブロック点を利用することで、時刻の正確な設定が行える。Fig.15 にブロック点を利用した操作例を示す。この例のように、作業間の位置関係を、ブロック点を利用して指定することによって、これらの作業間の図形的な位置関係の情報を保持することができる。このような図形的な位置関係を保持することによって、作業の処理時間を変化させたり、処理時刻を移動させたりするような操作によって、これらの関係が崩れた時、作業間の位置関係を利用して作業間関係を調整する機能を実現する。

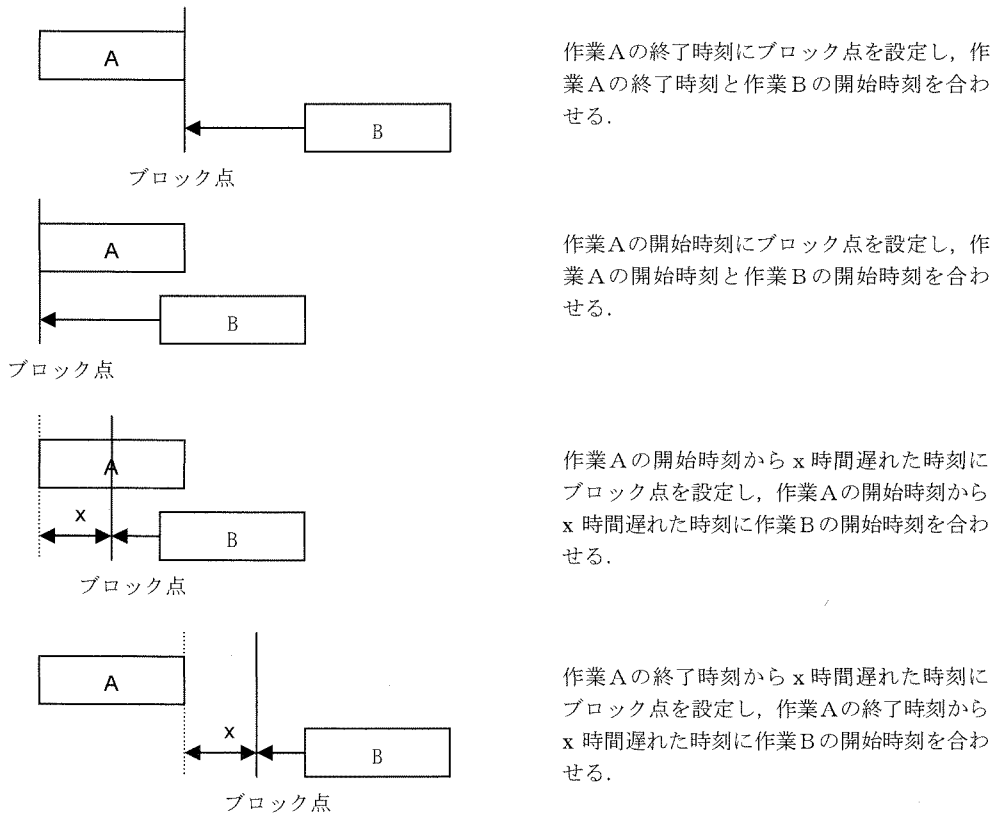


Fig.15 Examples for usage of the block point function

3. 4. 2 学習と利用方法

この機能を実現するために利用する情報と調整の処理手順について説明を行う。

(1) 作業が保持する情報

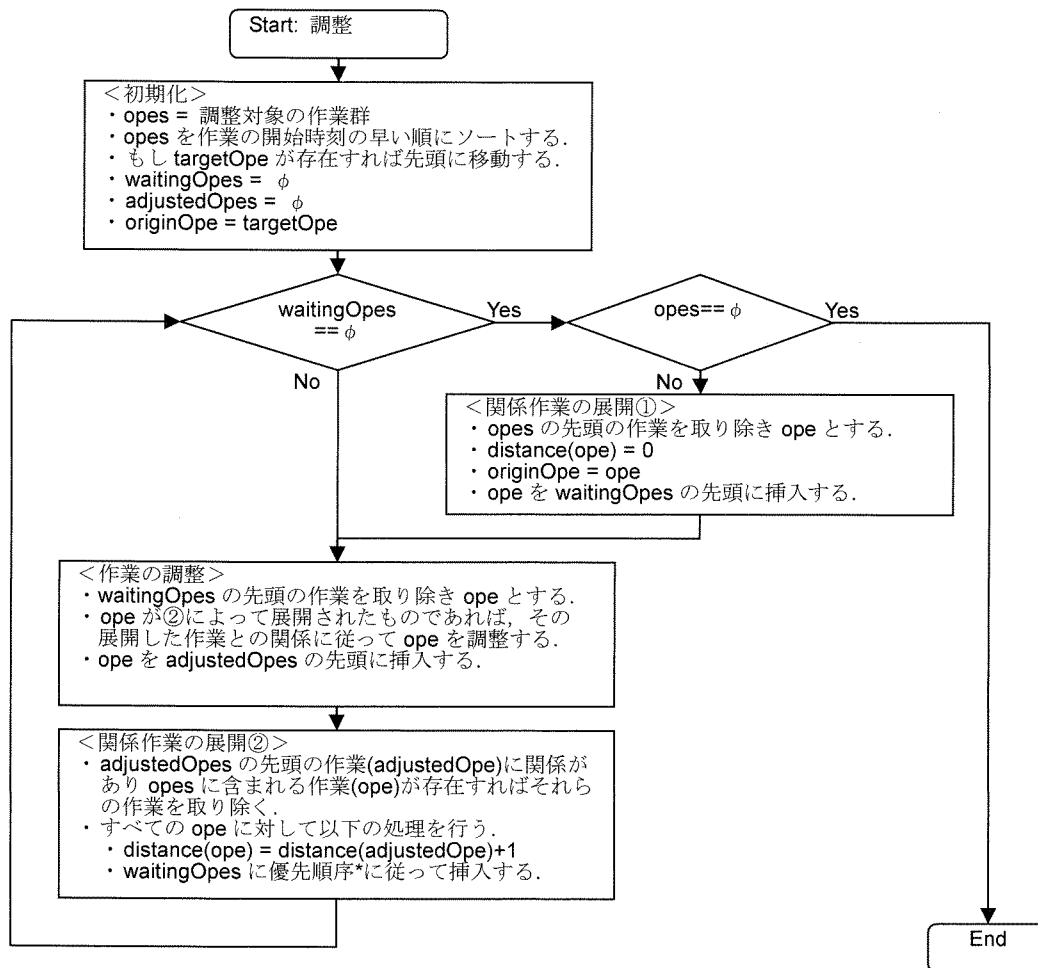
ブロック点を利用して作業間に位置関係を設定した場合、両方の作業はその関係を保持する。このような作業間の関係は関係強度を持つものとする。関係強度は **High**, **Low** の2種類に分けられ、ブロック点で関係が設定された時は **High** とする。この作業に対して新たな関係が設定され、既に存在していた関係に矛盾が生じた場合、その時点から関連強度は **Low** とする。

ブロック点を指定した作業は、開始時刻あるいは終了時刻のどちらの境界点をブロック点としたかという情報とブロック点の移動による遅れ情報、および関係強度の情報を保持する。ブロック点に境界点を移動（単純な移動と作業処理時間の拡大縮小による場合がある）した作業も、その境界点の情報と遅れ情報、および関係強度の情報を保持する。

(2) 調整の処理手順

この機能を利用するためには、対象となる作業群をまず指定する。対象となる作業群の中での互いの関係に基づいて作業関係を調整する。また、この機能を利用する際、調整の基点となる作業を指定する。この基点が指定されない場合は、対象の作業群の中で作業開始時刻が最も早い作業が基点として選択される。この基点から関係に従って作業を展開していく。対象となる作業群の中には連結されていない作業が存在する場合もあり、すべての作業を作業関係によって展開できない場合がある。このような場合は、新たに基点を作業の開始時刻の最も早い作業から選択し再び処理を開始する。このような調整のための処理手順を **Fig.16** に示す。

このように、本機能では、学習機能として、ブロック点を利用した作業間の位置関係の意図的な設定情報を蓄積する。そして、作業間の位置関係に矛盾が生じた場合に、調整を行うユーザの操作を支援するために自動調整機能を用意する。調整によって、矛盾が解消できない場合は、関係の強度を弱め、次回の調整の際にこの情報が利用される。また、関係付けられた作業が消去されたり、同一作業間で異なる関係が設定されたりした場合は、以前の関係を破棄するものとする。また、調整によって設定された関係は、**UNDO** 機能でもとの状態に戻すことができ、また、一部の関係の修正は新たにブロック点を利用して行うことができ、自由な修正が可能である。



opes: 調整対象の作業群.
waitingOpes: 調整を行う対象の作業を保持する. 先頭から調整を行う.
adjustedOpes: 調整された作業を保持する. 調整された作業は先頭に入れる.
targetOpe: 調整対象の作業を展開するための最初の基点の作業.
originOpe: 調整対象の作業を展開している現在の基点の作業.
Distance(ope): ope の現在の基点からの距離 (展開の回数).

優先順位*: 以下の優先条件に従って決定される優先順位
 (1) 展開した作業との関係強度に従い High を優先する. 同一の場合は(2)に従う.
 (2) 展開した作業と同一グループに属している作業を優先する. 同一の場合は(3)に従う.
 (3) Distance(ope)の短い ope (作業) を優先する.

Fig.16 Algorithm for Adjustment using operation relations

4. まとめ

以上のように、本研究課題では、日常の生産スケジューリング操作を通じて立案手法を習得する自己構築型の生産スケジューリングシステムの構築に関する研究を行った。まず、紙面上のガントチャートによる生産スケジューリング業務を模擬したガントチャートシステムの開発を行った。そして、種々のプロセスのスケジューリング業務に対してこのシステムを適用し評価を行った。この評価を通じて、マスタ情報を抽出するメカニズム、立案手法の手順を学習するメカニズムについて検討を行い、システム構築上のガイドラインを設定した。そして、このようなガイドラインに従ったメカニズムの構築例として、3つの機能についてその実現方法を検討した。

今後の課題としては、まず、このガイドラインに従ったメカニズムの構築例を増やし、実際のプロセスに適用し評価を行う必要がある。また、本研究における学習機能は、スケジューリングの過程で生成される個々の作業の実体に対してのみ機能しており、実体レベルの情報であるが、これらの情報をより有益に利用するためには、概念レベルの情報に引き上げる必要がある。また、スケジューリング過程を学習する機能も必要である。これらの研究は今後の課題である。

参考文献

- [1] 藤村 茂, 禹 棋允: “生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”, 情報処理学会第 67 回全国大会論文集, 4 pp. 607-610 (2005)
- [2] Shigeru Fujimura and Kiyun Woo: “Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work”, The 18th International Conference on Production Research, 31 July – 4 August 2005, University of Salerno, Italy (2005)
- [3] 清水 康弘, 藤村 茂: “生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”, 平成 17 年電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集 pp. 615-616 (2005)
- [4] Hai Xue, XueRui Zhang, Yasuhiro Shimizu, Shigeru Fujimura: “Master Information Extraction Mechanism for Production Scheduling System”, International Conference on Electrical Engineering 2006, July 9-13 YongPyong Resort, Korea (2006)
- [5] E.A.Silver, D.F.Pyke and R.Peterson: “Inventory Management and Production Planning and Scheduling”, John Wiley & Sons (1998)

添付資料①

藤村 茂, 禹 棋允:

“生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”
情報処理学会第 67 回全国大会論文集, 4 , pp. 607-610 (2005)

生産スケジューリング業務のための ガントチャートインタフェースシステム

藤村 茂[†] 禹 棋允[‡]

早稲田大学

With the high speed innovation of information technology, many production scheduling systems have been developed. However, a lot of customization according to individual production environment is required, and then a large amount of investment for development and maintenance is indispensable. Therefore now the direction to construct scheduling systems should be changed. In this paper, how a production schedule is made by a production scheduling operator is analyzed. The final objective of this research aims at developing a system which is built by itself, extracting the scheduling technique automatically through everyday scheduling work, so that investment will be decreased. To develop such a production scheduling system, this paper shows a prototype of the gantt chart interface system that imitates the scheduling work on paper.

1. はじめに

消費者の需要構造の変化に伴い、製造業における生産管理機能は複雑化してきている。そして、生産管理機能で中枢を担う生産スケジューリング業務のシステム化が多く推進されている。生産スケジューリング業務は、対象とするプロセスや設備等の環境、製品需要や原料供給の構造などによって著しく異なってしまう。そのために、生産スケジューリングシステムの開発は、個々の対象に対して個別に行われる場合が多い。個々の生産環境に適用するために多くのカスタマイズが要求され、システムに対する多大な初期開発投資が必要となる。また、社会環境の急速な変化によって、システム要求仕様自身の変化をシステム開発途上の期間においても強いられる場合も少なくなく、更なる投資の必要性が発生したり、投資効果が薄れたりする場合もある。更に、このように開発されたシステムは、メンテナンスのために多くの投資が必要となる場合もある[1][2]。

このような生産スケジューリングシステム開発の問題点を解決するためには、個々の対象に対し個別にシステム化を行う従来の手法から脱却し、システム開発の方向性を変えた新たなパラダイムを創出する必要がある。そこで、筆者らは、日常の生産スケジューリング操作を通じて、システムが自らスケジューリング手法を習得する自己構築型の生産スケジューリングシステムの構築を研究の最終目標としている。

生産スケジューリングシステム導入前、生産スケジューリング業務は、ガントチャート（資源単位に作業を割り付けるタイムチャート）を紙面上に描く、あるいは表計算ソフトウェアを利用して生産量を計算し生産の可能性を検証していた。本研究では、ガントチャートを利用した生産スケジューリング業務がどのように行われているかを解析するために、紙面上の操作を模擬しユーザの操作形態を抽出できるガントチャートインタフェースシステム（以下 GIS と呼ぶ）を開発した。本稿では、そのシステムの概要を説明し、システムを利用してスケジューリング業務を考察した結果を報告する。

2. 対象

GIS は、スケジューリングの対象として、文献[3]で示されている生産計画・スケジューリングシステムの3階層（戦略／戦術／オペレーション）においてオペレーション階層を対象とする。オペレーション階層のスケジューリングは、戦術階層からの制約条件のもとで詳細な生産スケジュールを作成するものである。

GIS は、自己構築型の生産スケジューリングシステムの構築を目的としているために、このようなオペレーション階層における幅広い種類の生産スケジューリング業務の形態に対応できるように開発する必要がある。そこで、まず、種々のスケジューリング業務に共通する基本操作を規定するために、生産スケジューリング業務で共通して行われる操作について整理を行う。

Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work

[†] Shigeru Fujimura (Waseda University)

[‡] Kiyun Woo (Waseda University)

2.1 ガントチャート上で扱う情報

作業とは、生産活動を行う処理を表し、その処理時間内でいくつかの資源が利用される。作業連鎖とは、ある製品を生産するために必要な作業のつながりである。資源は、作業員、設備、治具など、作業を行うために必要とされるものである。生産スケジューリングは、このような資源に作業を割り付けていく作業である。ガントチャート上で行われる基本操作は以下のようである。

- ・ 作業の生成、削除
- ・ 資源への作業の割り付け
- ・ 作業の利用資源の追加
- ・ 作業の利用資源の変更
- ・ 作業の時間移動
- ・ 作業の処理時間変更
- ・ 同一作業の繰り返し／類似作業の追加
- ・ 在庫予測に従った作業の生成

2.2 作業の時間移動

スケジューリング対象のプロセスは通常複数の作業の作業連鎖で表現される。これらの作業の処理時間をスケジューリングによって決定する。スケジューリング上重要となるボトルネック作業は通常これらの複数の作業の中でいくつかに限定される。これらの作業や作業連鎖に対する制約条件下での時間移動操作として以下のものがあげられる。

- ・ 作業の資源利用制約を満足する作業時間移動
- ・ 作業連鎖の時間的前後関係制約を満足する作業時間移動
- ・ 隠れた作業の制約を満足する作業時間移動
(隠れた作業とは、陽にスケジューリング対象としない作業である。このような隠れた作業の制約をユーザが認識しながら作業時間移動を行う)
- ・ 作業あるいは作業連鎖の前／後詰め時間移動
- ・ 作業あるいは作業連鎖の順序入替え
- ・ 作業あるいは作業連鎖群のまとめ時間移動

2.3 作業の処理時間変更

スケジューリングされる作業は、作業連鎖を生成する生産オーダーに関連付けられる。生産オーダーは、既に与えられ固定の場合と変動する場合がある。生産オーダーが変動する場合は、総量の生産量が与えられ生産オーダーへの分割をスケジューリングの際に決定する場合や、利用資源との関連で生産ロットサイズを調整しなければならない場合などがある。また、利用資源や作業時間帯に応じて処理時間が変化する場合がある。このような作業の処理時間変更操作として以下のものがあげられる。

- ・ 作業および作業連鎖の処理時間変更
- ・ 作業あるいは作業連鎖の分割・結合
- ・ 数量情報と処理時間情報の連動変更

2.4 同一作業の繰り返し／類似作業の追加

スケジューリング操作の中で、同一の作業や作業連鎖を繰り返して同一の製品を複数回生産するようにスケジューリングを行う場合や、他の作業や作業連鎖を類似させスケジューリングを行う場合がある。また、単体の作業や作業連鎖のみならず、いくつかのまとまりを生産パターンとして再利用したい場合もある。このような場合に対応するための操作として以下のものがあげられる。

- ・ 作業あるいは作業連鎖群のコピー／割り付け
- ・ 作業あるいは作業連鎖群の登録／割り付け

2.5 在庫予測に従った作業の生成

生産すべき生産オーダーは明示的に与えられない場合があり、原料、中間品あるいは製品の在庫によって生成しなければならない作業や作業連鎖も存在する。このような場合、必要に応じて、作業で利用する原料、生成される中間品あるいは製品の数量を指定することによって在庫推移を予測できるようにしなければならない。そして、在庫予測に応じて作業や作業連鎖を生成する。このような場合に対応するための操作として以下のものがあげられる。

- ・ 作業で利用する原料、生成される中間品あるいは製品の品目と数量指定

3. GISにおける基本操作

以下では、GISで用意する基本操作を説明する。基本操作は、紙面上で行うスケジューリング操作をコンピュータ上で行うことを可能とし、コンピュータ上で実現できる支援機能も含める。これらの基本操作はログとして蓄積され、スケジューリング操作履歴の解析に利用できるようにする。

3.1 作業の生成・コピー・削除

ガントチャート（縦軸：資源、横軸：時間）上において、任意の資源、時間間隔に対して作業を生成できるものとし、生成された作業はコピー、削除できるものとする。作業の属性として生産品目、生産数量、利用原料品目群、利用原料数量などを指定できるものとする。これらの属性は、スケジューリング上の必要に応じて設定するものとする。

3.2 作業のグループ化

複数の作業に対して同時に基本操作を行うことができるように、複数の作業を作業グループとして定義できるようにする。作業グループの

解除も行えるものとする。ひとつの作業を複数の作業グループに含めることを可能とし、基本操作を行う時に、作業自身、あるいは一つの作業グループを選択できるようにする。

3.3 作業・作業グループの時間移動

作業・作業グループ（移動対象）をマウスドラッグによって移動を行う。ブロック点（事前に設定する他の作業の境界時刻（開始時刻あるいは終了時刻））が指定してある場合、移動点（マウスで指定する作業の境界時刻）をブロック点まで移動することができる。任意の位置への移動はブロック点を指定する必要はない。作業グループに対する時間移動では、移動点を指定した作業以外のグループ内の他の作業も移動点を指定した作業と同一時間移動される。

3.4 資源移動

作業単位、あるいは同一資源を利用する作業グループ単位で、資源移動（作業の開始時刻は固定）可能とする。

3.5 作業期間調整

作業単位、あるいは作業グループ単位で調整可能とする。時間移動と同様ブロック点を指定することができるものとする。作業グループに対する作業期間調整では、移動点を指定した作業以外のグループ内の他の作業も移動点を指定した作業と同一比率で作業期間調整される。

3.6 結合／分割

同一資源を利用している作業を結合する。また、作業を分割できるものとする。分割された作業は 3.7 の境界変更で時間比率を調整することができるものとする。

3.7 境界変更

同一資源を利用し、同一時刻が境界時刻（作業の開始時刻あるいは終了時刻）である場合、境界時刻で指定された複数の作業の境界時刻を同時に変更できるものとする。作業グループ指定の場合は、対象指定作業の収縮比率に従ってグループ内の他の作業も作業期間を修正する。

4. ガントチャートインタフェースシステム

ガントチャートインタフェースシステム (GIS) は JAVA アプレットとして実装した。概観は fig.1 に示すとおりであり、ガントチャート部と、作業属性リスト部に分割される。ガントチャート部は、縦軸が資源で横軸が時間のガントチャートを表示し、基本操作をマウスによって行う。作業属性リストは、資源毎の作業およびその属性のリストや、ガントチャート上で選択されている作業グループの作業のリストなどが表示され、ガントチャート上の操作が反映さ

れる。また、作業属性リスト上での操作をガントチャート上に反映させることができるものとする。

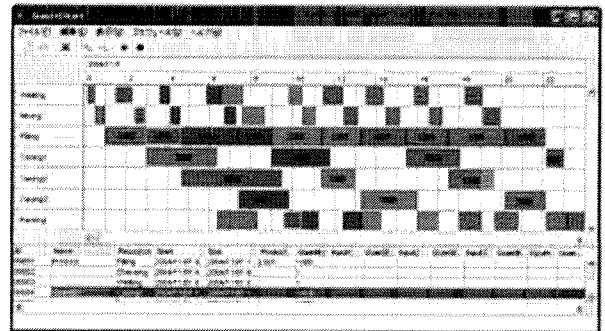


fig.1 Gantt Chart Interface System(GIS)

5. プロセスへの適用例

GIS を利用して、下記のプロセスの生産スケジュールを立案し GIS の評価を行った。

5.1 対象プロセス

擬似的な生産プロセスを例に取り上げる。5つの作業（秤量、混合、充填、組立、梱包）を直列に行うプロセスとし、充填設備と、組立ラインは複数存在するものとする。生産可能な品目は複数存在し、生産手順は同様であるが、各作業に要する時間は品目の特徴によって異なり、品目毎に充填設備の選択の優先順位も異なる。充填設備が処理能力上のボトルネックであり、充填作業からスケジューリングを行う。組立ラインは作業員の確保が必要であり、その割当がうまくいかない場合は、充填作業のスケジュールを変更する必要がある。これらのスケジュールが決定されると、他の作業に対しては、時間的な制約を満足するようにスケジュールを決定すればよい。

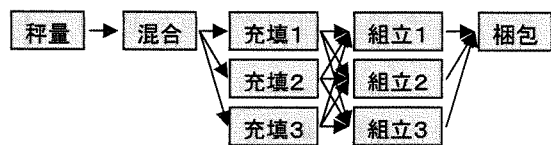


Fig.2 a process for evaluation

スケジューリングは、前日に翌日一日分の生産スケジュールを作成するものとする。プロセスの下流作業（組立、梱包作業）については前日分の仕掛作業を考慮し、上流作業（秤量、混合作業）については翌々日分の先行作業も考慮する。生産品目および数量は既に決定しているものとし、各作業の処理順番の決定の裁量がスケジューリング担当者に与えられているものとする。日常のスケジューリング手順は以下のと

おりである。

- (1) 当日（スケジューリング実施日）のスケジュール情報（前日に立案されたもの）と実績情報から、翌日（スケジュール対象日）分への影響（主に下流作業）を予測し当日のスケジュール情報を修正する。
- (2) 翌日の生産品目、数量に応じて充填設備のスケジュールを決定する。また、翌々日（スケジュール対象日の翌日）の生産品目・数量に従って、翌々日の先行作業のスケジュールを仮決定しておく。
- (3) 充填作業のスケジュールに従って組立作業のスケジュールを決定する。組立ラインの利用上の不整合が生じた場合には充填作業のスケジュールを修正し整合性を満足するまで(2)(3)を繰り返す。
- (4) 充填、組立作業のスケジュールに従って、上流作業と下流作業のスケジュールを決定する。不整合が生じた場合は(2)に戻る。

5.2 GISにおけるスケジューリング操作の評価

GIS を実際に利用することにより、以下の利点を確認できた。

- (1) 従来のスケジューリングシステムのようにマスタ情報を入力する必要がない。これによつては、以下のような利点があげられる。まず、マスタ情報の整備を行わなくても利用できる点である。次は、マスタ情報に従わないために、自由な修正が可能であるという点である。一方、マスタ情報に従わないため、スケジューリング担当者の責任のもとでスケジュールの修正を行う必要がある。
- (2) スケジューリング手法が自由であるために、種々のプロセスに適用できる。そのために、スケジューリング手順を実装する初期投資や、手順の変更に対するメンテナンス投資が不要となる。また、スケジューリング手順を実装することは、スケジューリング業務の運用に対する融通性を阻害することにつながる。そのために、あらゆる可能性を考えたスケジューリングシステムの実装を試みる必要があり、そのために複雑なシステムになりかねない。それに対して GIS では、急なオーダーの追加、設備の不具合、計画と実績との乖離等の状況に対しても柔軟に対応できる。
- (3) スケジュールパターンを利用した新規スケジュールの作成が可能である。この例のプロセスの場合、過去の日程と生産品目・数量が類似している場合、そのスケジュール情報を利用して、少ない修正によってスケジュールを立案することができる。また、類似しているスケジュー

ールパターンの利用、ある資源に対するスケジュールパターンの利用など、対象プロセスによって種々の操作の可能性が考えられる。

(4) GIS では、作業間の関連定義（作業の前後関係定義、原料・中間品・製品の流れの定義）を明確に行わない。そのために、作業グループが、複数の作業に対する時間的な移動や処理時間の変更、分割・結合の操作に利用される。これは、従来のマスタ情報を基にしたシステムとは異なり、スケジューリングの操作において不要な情報の定義を低減しておりメンテナンス上の負荷を軽減しているといえる。

6. まとめ

本論文では、ガントチャートを利用した生産スケジューリング業務がどのように行われているかを解析するために、紙面上の操作を模擬しユーザの操作履歴を抽出できるガントチャートインタフェースシステムを開発し、その機能を紹介した。そして、擬似的な生産プロセスを例としてとりあげ、スケジューリングを行った例を示し、本ガントチャートインタフェースシステムの有効性を確認した。

今後は、異なる種々のプロセス例に適用し、基本操作機能の拡張および操作履歴に基づく学習機能について検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究は、平成16年度早稲田大学特定課題研究助成費(2003A-955)、平成17年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2) No. 16560357)の援助を受けた。ここに付記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 藤村，檜物：バッチプロセスにおける制御用処方情報とスケジューリング用情報の一元管理方法，電気学会論文誌 C, Vol. 122-C, No. 5, pp. 843-850 (2002)
- [2] 藤村，檜物：視点の異なるスケジューリングシステムの融合，日本設備管理学会誌，Vol. 12, No. 4, pp. 142-147 (2001)
- [3] E.A.Silver, D.F.Pyke and R.Peterson : Inventory Management and Production Planning and Scheduling, John Wiley & Sons (1998)

添付資料②

Shigeru Fujimura and Kiyun Woo:

“Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work”

The 18th International Conference on Production Research,

31 July – 4 August 2005, University of Salerno, Italy (2005)

Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work

Shigeru Fujimura, Kiyun Woo

Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University,
2-7 Hibikino, Wakamatsu-Ku, Kitakyushu, Fukuoka, 808-0135, Japan

Abstract

With the high speed innovation of information technology, many production scheduling systems have been developed. However, a lot of customization according to individual production environment is required, and then a large investment for development and maintenance is indispensable. Therefore now the direction to construct scheduling systems should be changed. The final objective of this research aims at developing a system which is built by it extracting the scheduling technique automatically through the daily production scheduling work, so that an investment will be decreased. To develop such a production scheduling system, this paper shows a prototype of Gantt Chart Interface System that emulates the production scheduling work on a paper. First, how a production schedule is made by production scheduling operators is analyzed. A model for expressing a scheduling problem and basic functions for manipulating it are then proposed. An overview of the prototype system is shown next. Finally the prototype system is applied for a sample production process, and the effectiveness of this system is evaluated.

Keywords:

Production scheduling, Gantt chart, Production management, Operational scheduling

1 INTRODUCTION

With changes of the consumer's demand structure, production management functions in manufacturing industries become complicated. Systems for the production scheduling work that is a central role of production management functions are built passionately. According to environmental differences for process types, facilities and/or relationships between consumers and suppliers, there are differences of the production scheduling work. Many production scheduling systems are developed for an individual process individually. It is required much customization to apply to an individual production environment, and a great deal of initial investments is necessary for development. Furthermore, with social environmental quick changes, system specifications themselves change in the term of the system development. So an additional investment is necessary, or an investment effect fades. In addition, systems developed in this way may need a lot of investments for maintenance.

The current construction style individually systematized for an individual process must be changed to solve such a problem for developing production scheduling systems. The new paradigm that will change direction of the system development must be considered. So, the final goal of this study is to construct the production scheduling system of the self-construction type that learns scheduling technique itself through the daily production scheduling work.

Until a production scheduling system was introduced, in the production scheduling work, the feasibility of production has been checked by drawing a Gantt chart (the time chart which allocates operations for resources) on paper or using spreadsheet software. In this study, **Gantt Chart Interface System** which emulates manipulation on a paper and extracts user's operation histories is developed. In this paper, how a production schedule is made by production scheduling operators is analyzed first. A model for expressing a scheduling problem and basic functions for manipulating it are then proposed. An overview of the prototype system of **Gantt Chart Interface System** is shown next. Finally this system is applied for a sample production process, and the effectiveness of this system is evaluated.

2 PRODUCTION SCHEDULING WORK

Gantt Chart Interface System handles the operational level of the production scheduling work which is the lowest level of the three hierarchical levels (strategic / tactical / operational) of the production planning and scheduling system described in [3]. Scheduling for the operational level makes a detailed production schedule under the constraints from the tactical level. **Gantt Chart Interface System** is aimed for the construction of the production scheduling system of the self-construction type. It should be developed to be able to support various kinds of the production scheduling work of a wide range in the operational level. So, at first it is considered interactions with **Gantt Chart Interface System** that are handled in various kinds of the production scheduling work to define basic manipulation functions for user interactions.

2.1 A Model for Production Schedule

Operation means a processing activity to make a product, and an operation uses some resources in the processing time specified for each operation. An operation consists of more than one task. One task uses one resource. A Task using primary resource (defined firstly) is called a primary task. Operation chain means a connection of the operations that are necessary to produce a certain product, and an operation chain consists of more than one operation. Resource means a thing which is needed to process an operation (facilities, a workers, and so on). Production scheduling is a work that tasks specified by operations are allocated on resources.

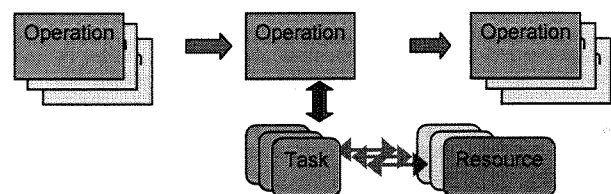


Figure 1: A model for production schedule

Basic manipulation functions for user interactions with **Gantt Chart Interface System** are as follows.

- operation (primary task) generating and deleting
- task allocation on resource
- task addition for operation
- resource changing for task
- time moving for operation
- time expanding or contracting for operation
- operation duplication
- operation generation according to stock predictions

2.2 Time moving for operation

A production process handled in the production scheduling work is usually expressed by operation chains of plural operations. Processing time and order of these operations are set through the production scheduling work. The most important bottleneck operations for scheduling are usually limited to only a few in plural operations handled. The following functions for time moving activities under the constraints for operations are necessary for the production scheduling work.

- time moving with satisfying the constraints which restrict the usage of resources
- time moving with satisfying the time context constraints between operations of operation chain
- time moving with satisfying the constraints of hidden operations (The hidden operations are not expressed explicitly as operations for the production scheduling work. While a user recognizes constraints of such operations, operations related to hidden operations are moved by user.)
- backward / forward time moving for operations
- permutation order replacing of operations
- time moving for operations in a certain group

2.3 Time expanding or contracting for operation

An operation chain including scheduled operations is related to a production order. There are two types to give production orders. In the first type, they are given as fixed orders. This type is applied in the case of build-to-order manufacturing. However, according to the productive capacity of used resources, given production order may be duplicated in several operations or merged with the other production orders. In the second type, at first they are temporarily given, and they may be modified. The total amounts of products which should be produced are given, and through the production scheduling work they are duplicated in the actual production orders. In addition, there is a case that according to used resources and/or production time zone, processing time is changed a little bit. The following functions for time expanding or contracting activities under the constraints for operations are necessary for the production scheduling work.

- processing time modification of operation
- duplication of operation / mergence of operations
- processing time modification of operation in connection with production amount information

2.4 Operation duplication

In the production scheduling work, there are many cases that the same operations or operation chains are used repeatedly to make the same product using the same procedure or the similar product using the similar

procedure. As well as the use of such a simple way, there is a case to use a collection of many operations repeatedly as a production pattern. The following functions for operation duplication activities under the constraints for operations are necessary for the production scheduling work.

- copying and allocation of operations
- registration and allocation of operations

2.5 Operation generation with stock predictions

When the production orders that should be produced are not given explicitly, production orders must be generated according to the stock levels of raw materials, intermediate products or final products. Operations and operation chains for such orders must be generated. The following functions for operation generation activities with stock predictions information are necessary for the production scheduling work.

- setting material, intermediate product or product names and quantities

3 GANTT CHART INTERFACE SYSTEM

Gantt Chart Interface System is implemented as JAVA applet. The appearance of **Gantt Chart Interface System** is shown in Figure2, and it is divided into two panes. The upper pane is used to show the Gantt chart, and the lower pane is used to show attributes of operations. In the Gantt chart pane, a vertical axis shows resources, and a horizontal axis shows time, and basic manipulations are performed with using a mouse.

In the operation attributes list pane, attributes of operations using a certain resource or operations selected on the Gantt chart pane are displayed. When manipulation is performed on the Gantt chart pane, the information in the operation attributes list pane is updated. In addition, manipulations on the operation attributes list pane updates contents of the Gantt chart pane.

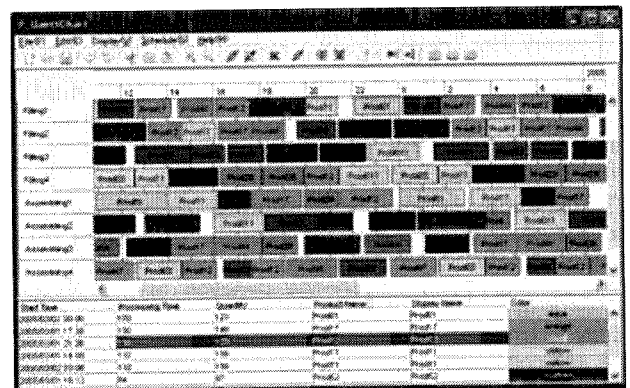


Figure 2: Gantt Chart Interface System

In this chapter, basic manipulation functions prepared on **Gantt Chart Interface System** are explained. Basic manipulation functions make users possible to emulate manipulations to make a schedule on paper and the support functions that can be realized on a computer are included. The sequence of basic manipulations is accumulated in a log file, and for the analysis of the production scheduling work it can be used.

3.1 Operation Generating / Copying / Deleting

In the Gantt chart (vertical axis: resources, horizontal axis: time), operations can be generated arbitrary for any resource and any time interval, and generated operations can be deleted or copied. The attributes of an operation are

a product, production quantity, used raw materials, quantity of them, and so on. These attributes are set through the production scheduling work if necessary.

3.2 Grouping

Plural operations can be defined as a group of operations to be able to perform basic manipulation functions for plural operations at the same time. Cancellation of grouping of operations can be also performed. It is allowed to include one operation in plural different groups.

3.3 Time moving for operation

Operations and/or groups are able to be moved by a mouse drag manipulation. When a block point is specified, a moving point can be moved to the block point. Block point means the bordered time of the other operation set beforehand. Bordered time means the start time or the end time of the processing time interval of the operation. Moving point means a bordered time of the target operation specified with a mouse pressed point. In a case of moving to an arbitrary point, it isn't necessary to specify such a block point. For the time moving activity of a group of operations, operations in a group except operation specified by the moving point are moved the same time as that operation specified by the moving point is moved.

3.4 Resource changing for task

For tasks using the same resource, it can be changed to the other resource.

3.5 Time expanding or contracting for operation

For operations, processing terms can be adjusted. Same as the time moving activity, it can be adjusted by using a block point. For the processing term adjustment activity of a group of operations, operations in a group except operation specified by the moving point are adjusted the same ratio as that operation specified by the moving point is expanded or contracted.

3.6 Combination / division of operations

Operations using the same resource can be combined as one operation. In addition, operations can be divided. Divided operations can be coordinated the ratio in time by changing a boundary that will be described in the next section.

3.7 Boundary change between operations

If plural operations use the same resources and the border time of these is the same, the border time of these operations specified by the bordered time is changed at the same time. Bordered time means the start time or the end time of the processing time interval of the operation. For the boundary change of a group of operations, operations in a group except operation specified by the bordered time are adjusted the same shrinkage ratio as the operation specified by the bordered time is changed.

4 EVALUATION

To evaluate *Gantt Chart Interface System*, the following target production process is used.

4.1 A target process

A pseudo production process of lipsticks is used as an example. This process has five process stages (weighting, mixing, filling, assembling, and packing) in series. There are plural filling facilities and assembling lines. There are some products which can be produced, and production procedures for them are the almost same. However the operation processing time is different depending on a characteristic of each product and the priority of choice of filling facilities is different depending on it, too. Filling is a bottleneck process stage in this example, and the

production scheduling work is started from considering the schedule for filling operations. It is important to coordinate a schedule of workers for assembling lines. It is necessary to change a schedule of filling operations when the allocation of assembling operations doesn't go well. After these operations are scheduled, the other operations should be scheduled with satisfying the constraints which restrict the usage of resources.

For the daily production scheduling work, a production schedule for the next day is made on the day before. If there are operations of work in hand (these are down stream (assembling and packing) operations) for the day before, these operations should be adjusted. If there are prior operations (these are upper stream (weighting and mixing) operations) for the day after next, these operations should be served as scheduling target operations. Ordered products and their quantities have been already given, and operations which are needed to make these products are unfolded. It is discretion left for production scheduling operators only to decide a ordering of these operations

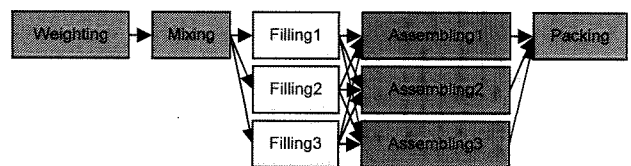


Figure 3: Pseudo production process

The daily production scheduling is performed according to the following steps.

- (1) According to the schedule information on that day which was scheduled on the day before and results information on that day, the schedule information for operations of work in hand (the down stream operates mainly) on the next day should be revised with the predicted information.

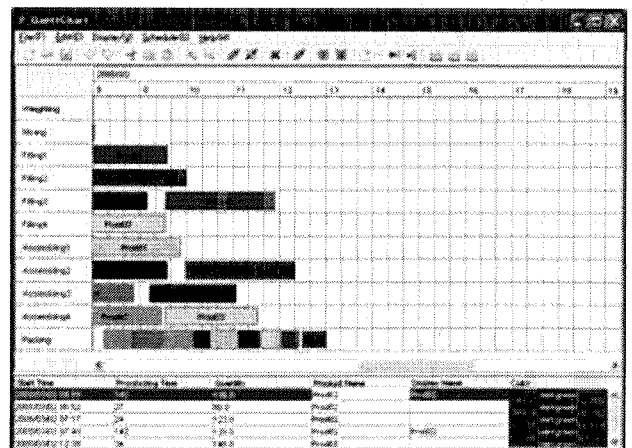


Figure 4: Initial schedule information

- (2) A schedule of filling facilities is decided depending on operation chains of ordered products of the next day. In addition, depending on operation chains of ordered products of the day after next, a schedule of prior operations of the day after next is decided temporarily. Next a schedule of assembling operations is decided according to a schedule of filling operations. When the inconsistency occurs in the schedule of assembling line operations, the schedule of filling operations should be revised. This step (2) is repeated until consistency is satisfied.

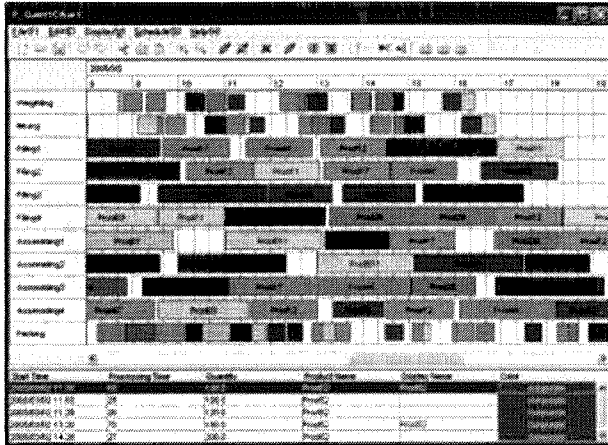


Figure 5: Schedule information for bottleneck facilities

- (3) According to the schedule of filling and assembling operations, a schedule of the down stream and upper stream operations is decided. When the inconsistency occurs in the schedule of the whole operations, (2) and (3) is repeated until consistency is satisfied.

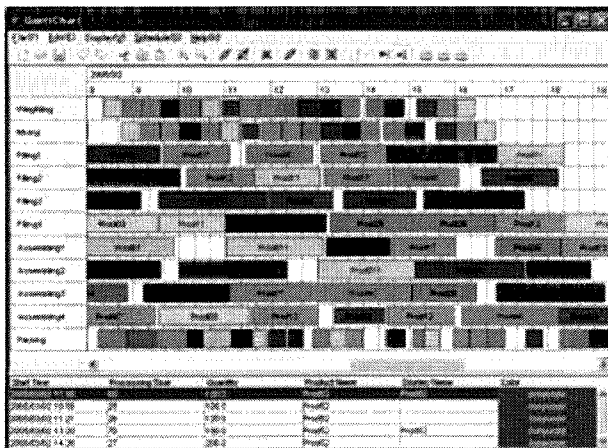


Figure 6: final schedule information

4.2 Evaluation of scheduling manipulation

The following advantages to use **Gantt Chart Interface System** have been confirmed.

- (1) It is not necessary to input master information like the current production scheduling systems. The following advantages are offered hereby. At first this system can be used even if master information isn't got ready. Next, a schedule can be adjusted freely because this system is not according to master information at all. On the other hand, a schedule should be revised under the responsibility of the scheduling operators because this system doesn't prepare the master information for recipes.
- (2) Because scheduling procedure is free, various kinds of production processes can be applied to. Therefore initial investment to implement a scheduling procedure and a maintenance investment for changes of a procedure become needless. In addition, it obstructs flexibility for the production scheduling work to implement a fixed scheduling procedure. Therefore it is necessary to implement the scheduling system which can support every possibility, and such a system may become a

complicated system. However, **Gantt Chart Interface System** supports flexibly for the situation such as addition of rapid orders, malfunction of facilities, estrangement with a schedule and the results, and so on.

- (3) The production scheduling work that uses schedule patterns is possible. If products and their quantities of the already executed schedule in the past have some resemblance, the schedule information of this day can be used, and a schedule can be made by a few revisions.
- (4) In **Gantt Chart Interface System**, it is not necessary for the relation information between operations (for example, a context of operations, a flow relationship of raw materials and products and so on) to be defined. Therefore operation groups are used for time moving, time expanding or contracting, combination of plural operations and division into plural operations. It is different from the approach of the current production scheduling system based on the master information for recipes, and this feature has reduced the efforts to define the information that is not used for scheduling and it has also reduced load in maintenance.

5 CONCLUSION

Gantt Chart Interface System which emulates manipulation on a paper, and extracts user's operation histories has been developed, and in this paper, the functions of this system have been introduced. A model for expressing a scheduling problem and basic functions for manipulating it have been proposed. An overview of prototype system has been shown next. Finally the prototype system has been applied for a sample production process, and the effectiveness of this system has been evaluated.

Gantt Chart Interface System will be applied to the various kinds of processes, and expansion of the basic manipulation functions and learning mechanism based on manipulation history data is going to be investigated in future.

ACKNOWLEDGMENTS:

This study has taken support of the research funds subsidy of FY2004 Grant-in-Aid for Scientific Research Category (C) (2) No.16560357 by JSPS (Japan Society for the Promotion of Science).

REFERENCES:

- [1] S.Fujimura, R.Himono: Unified Recipe Information Management for Batch Process Control and Scheduling, Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol.122-C, No. 5, pp.843-850, in Japanese (2002)
- [2] S.Fujimura, R.Himono: Cooperative Scheduling System with Multiple View Points, Journal of the Society of Plant Engineers Japan, Vol.12, No. 4, pp.142-147, in Japanese (2001)
- [3] E.A.Silver, D.F.Pyke and R.Peterson: Inventory Management and Production Planning and Scheduling, John Wiley & Sons (1998)

添付資料③

清水 康弘, 藤村 茂:

“生産スケジューリング業務のためのガントチャートインタフェースシステム”

平成 17 年電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 615-616 (2005)

生産スケジューリング業務のための ガントチャートインタフェースシステム

非会員 清水 康弘* 正員 藤村 茂*

Gantt Chart System for Analysis of Production Scheduling Work

Yasuhiro Shimizu*, Non-member, Shigeru Fujimura*, Member

With the high speed innovation of information technology, many production scheduling systems have been developed. However, a lot of customization according to individual production environment is required, and then a large amount of investment for development and maintenance is indispensable. Therefore now the direction to construct scheduling systems should be changed. The final objective of this research aims at developing a system which is built by itself, extracting the scheduling technique automatically through everyday scheduling work, so that investment will be decreased. To develop such a production scheduling system, this paper shows the gantt chart system for analysis how a production schedule is made by a production scheduling operator.

キーワード：生産スケジューリング，ガントチャート，ユーザインタフェース

Keywords : Production Scheduling, Gantt Chart, User Interface

1. はじめに

生産スケジューリング業務は、対象とするプロセスや設備等の環境、製品需要や原料供給の構造などによって著しく異なる。そのために、生産スケジューリングシステムの開発は、個々の対象に対して個別に行われる場合が多く、システム開発に対する多大な投資が必要となる。また、社会環境の急速な変化によって、システム要求仕様自身の変化をシステム開発途上の期間においても強いられる場合も少なくなく、更なる投資の必要性が発生したり、投資効果が薄れたりする場合もある。このような問題点を解決するためには、個別にシステム化を行う従来の手法から脱却し、システム開発の方向性を変える必要がある。そこで、筆者らは日常の生産スケジューリング操作を通じて、システムが自らスケジューリング手法を習得する自己構築型の生産スケジューリングシステムの構築を最終目標としている⁽¹⁾。

本研究では、ガントチャートを利用した生産スケジューリング業務がどのように行われているかを解析するために、紙面上の操作を模擬しユーザの操作形態を抽出できるガントチャートシステム（以下 GCS と記す）を開発したので、本稿ではそのシステムの概要を報告する。

2. 対象

GCS は、スケジューリングの対象として、文献(2)で示されている生産計画・スケジューリングシステムの3階層（戦略／戦術／オペレーション）においてオペレーション階層を対象とする。オペレーション階層のスケジューリングは、戦術階層からの制約条件のもとで詳細な生産スケジュールを作成するものである。GCS は、このようなオペレーション階層において、幅広い種類の生産スケジューリング業務に対応できるものとする。

スケジューリングで扱う情報は以下のとおりである。

- ① 資源 (Resource) : 作業員, 設備, 治具など, 作業を行うために必要とされるもの。
- ② 作業 (Operation) : 生産活動を行う処理の単位であり, いくつかの資源が利用される。スケジューリングは, “作業”を行うための資源と処理時間を決定することである。
- ③ タスク (Task) : 作業は, 1 個の主タスクと 0 個以上の副タスクからなる。タスクは 1 個の資源を利用する。
- ④ 作業連鎖 (Operation Chain) : ある製品を生産するために必要な作業のつながりである。

作業連鎖は, MPS (Master Production Scheduling) に従って生成される。MPS は固定して与えられる場合と, 一旦与えられたものが変動する場合がある。変動する場合としては, 初期の MPS の情報がスケジューリング後に外的要因で変更される場合と, スケジューリング状況に応じて変

* 早稲田大学大学院情報生産システム研究科
〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの 2-7
Graduate School of Information, Production and Systems,
Waseda University
2-7 Hibikino Wakamatsu-Ku, Kitakyushyu, Fukuoka
808-0135

更される場合がある。また、MPS は総量の生産量として与えられるために、スケジューリング対象としては、いくつかの作業連鎖に分割しなければならない。ロットサイズ制約によってもいくつかの作業連鎖に分割しなければならない。

このような作業およびタスクの生成・調整機能を GCS では実現する必要がある。

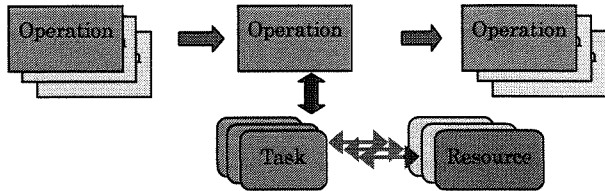


Figure 1: A model for production schedule

3. 機能

GCS は JAVA アプレットとして実装した。概観を fig.2 に示す。ガントチャート部と、タスク属性リスト部に分割される。ガントチャート部は、縦軸が資源で横軸が時間のガントチャートを表示し、紙面上で行うスケジューリング操作をコンピュータ上で行うことを可能とし、コンピュータ上で実現できる支援機能も含める。ガントチャート上の基本操作については後述する。タスク属性リスト部は、資源毎のタスクおよびその属性のリストや、ガントチャート上で選択されているタスクおよびその属性のリストが表示される。ガントチャート部あるいはタスク属性リスト部の操作は、お互いの情報を更新させる。これらの操作はログとして蓄積され、スケジューリング操作履歴の解析に利用できる。

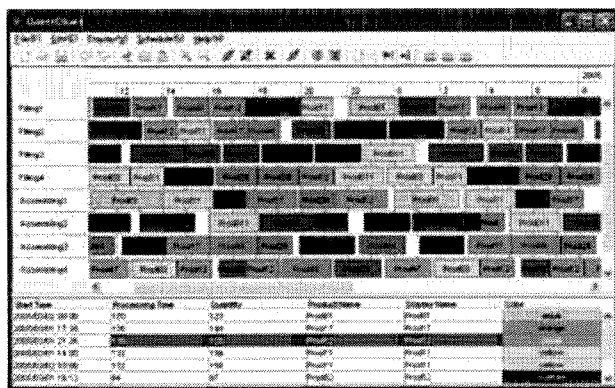


Figure 2: Gantt Chart System

以下では、GCS で用意する基本操作を説明する。

〈3・1〉 タスクの生成・コピー・削除

ガントチャート(縦軸:資源,横軸:時間)上において、任意の資源,処理時間(開始時刻,終了時刻)に対してタスクを生成することができる。生成されたタスクは、コピー,削除可能である。主タスクの属性として生産品目,生産数量,利用原料品目群,利用原料数量などが指定できる。

これらの属性は、スケジューリング上必要に応じて設定する。また、副タスクは、主タスクを指定して生成することができる。副タスクの処理時間は、対応する主タスクの処理時間に従う。

〈3・2〉 作業のグループ化

複数の作業に対して同時に基本操作を行うことができるように、複数の作業を作業グループとして定義することができる。主タスクあるいは副タスクを指定することにより、対応する作業をグルーピングすることができる。作業グループの解除も行える。ひとつの作業を複数の作業グループに含めることを可能とし、基本操作を行う対象として、作業自身,あるいは一つの作業グループを選択できるものとする。

〈3・3〉 作業・作業グループの時間移動

作業・作業グループ(移動対象)をマウスドラッグによって移動を行う。ブロック点(事前に設定する他の作業の境界時刻(開始時刻あるいは終了時刻))が指定してある場合,移動点(マウスで指定する作業の境界時刻)をブロック点まで移動することができる。任意の位置への移動はブロック点を指定する必要はない。作業グループに対する時間移動では,移動点を指定した作業以外のグループ内の他の作業も移動点を指定した作業と同一時間移動される。

〈3・4〉 資源移動

タスク単位,あるいは同一資源を利用するタスク群単位で,資源移動(作業の開始時刻は固定)を可能とする。

〈3・5〉 作業期間調整

作業単位,あるいは作業グループ単位で調整可能とする。時間移動と同様,ブロック点を指定することができるものとする。作業グループに対する作業期間調整では,移動点を指定した作業以外のグループ内の他の作業も移動点を指定した作業と同一比率で作業期間が調整される。

4. まとめ

ガントチャートを利用した生産スケジューリング業務がどのように行われているかを解析するために、紙面上の操作を模擬しユーザの操作履歴を抽出できるガントチャートシステムを開発した。今後は、異なる種々のプロセス例に適用し、操作履歴を解析し、操作履歴に基づく学習機能について検討を行っていく予定である。

謝辞:本研究は、平成 17, 18 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2) No.16560357)の援助を受けた。ここに付記して感謝の意を表す。

文 献

- (1) S.Fujimura, K.Woo: Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work, ICPR 18th (International Conference on Production Research), Italy (August 2005)
- (2) E.A.Silver, D.F.Pyke and R.Peterson: Inventory Management and Production Planning and Scheduling, John Wiley & Sons (1998)

添付資料④

藤村 茂:

“業種によって異なる生産スケジューリング手法と自己構築型アプローチについて”
日本学術振興会プロセスシステム工学第 143 委員会 平成 17 年度第 4 回研究会,
2005/12/9

情報
システム
分析

生産
システム
分析

システム
分析

NEOAYUSHI
CITY

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会

業種によって異なる 生産スケジューリング手法と 自己構築型アプローチについて

平成17年12月9日

早稲田大学 大学院 情報生産システム研究科
藤村 茂

WASEDA
IPS
information, production
and systems

発表内容

- 研究の背景
- 現状のシステム構築のアプローチと問題点
- バッチプロセスにおけるスケジューリングの難しさ
- 提案システムの概要
- 適用例
- 今後の課題

これまでに関わってきた スケジューリングシステム

薬品, 食品, 化学:

製造作業・洗浄作業の細かいスケジュールが必要.
ロット単位の生産計画, トレースが必要.

砂糖, 石油精製:

連続生産における中間在庫推移が重要.

製紙:

連続生産とバッチ作業との生産バランスが重要.

組立・加工:

繰返生産において中間在庫推移が重要.

TOC:

ボトルネック工程のスケジューリングが重要.

など

スケジューリングシステムの必要性

環境の変化

- 多品種少量生産
- 製品ライフサイクル短命化

製造部門への圧迫

- 製造リードタイム短縮化
- 在庫削減

最終的な目的はスループット向上

これらの要件を満足する
スケジューリングシステムを開発しなければならない.

本研究で扱うスケジューリング業務の対象

Strategic

販売戦略に従う資源確保のための計画
Long Range, Very aggregated

Tactical

資源利用方策のための計画
Middle Range, Aggregated

Operational

詳細実行計画(スケジュール)
Short Range, Very detailed

発表内容

- 研究の背景
- 現状のシステム構築のアプローチと問題点
- バッチプロセスにおけるスケジューリングの難しさ
- 提案システムの概要
- 適用例
- 今後の課題

現在のスケジューリングシステム

■ パッケージ型

マスタ情報(スケジューリングに必要な種々の宣言的な静的データ)と、スケジューリング手法を規定するディスパッチングルールと呼ばれるパラメータを設定することによってシステムを構築する。

■ ツール型

マスタ情報の基本データ構造、基本的なスケジューリング手法の処理関数、および基本的なグラフィック表示機能が用意されており、ユーザがプログラミングによってシステムを構築する。

システム構築の問題点

生産プロセス・環境によって異なる要求仕様

<システム利用者の問題点>

莫大な初期投資, メンテナンス投資

システムの陳腐化

<システム開発者の問題点>

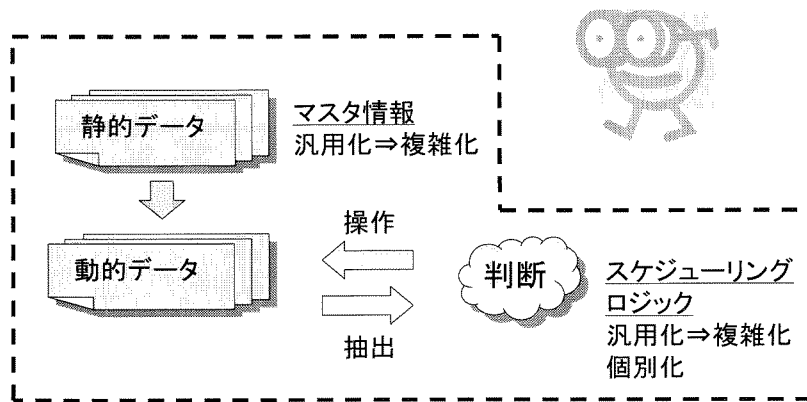
システム化技法の標準化が難しい

見積りが難しい

システムの機能は開発者の技量に依存

システム化のパラダイムシフトが必要

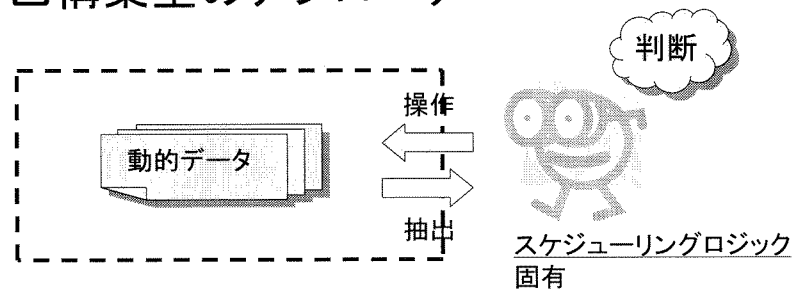
従来のアプローチ



プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

9

自己構築型のアプローチ



マスタ情報やスケジュールリングロジックをあらかじめ設定しない。

- 操作履歴からマスタ情報を抽出し利用する。
- 操作履歴からスケジュールリングロジックを抽出し利用する。

プロセスモデルに依存しない、
固有のスケジュールリングに必要な情報のみを扱う。

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

10

研究の目的

日常の生産スケジューリング操作を通じて、
システムが自らスケジューリング手法を習得する
自己構築型の生産スケジューリングシステムの構築を目指す。

本日の発表の内容

- バッチプロセスのスケジューリングに必要な機能
- 現在開発中のマスタ情報抽出機能



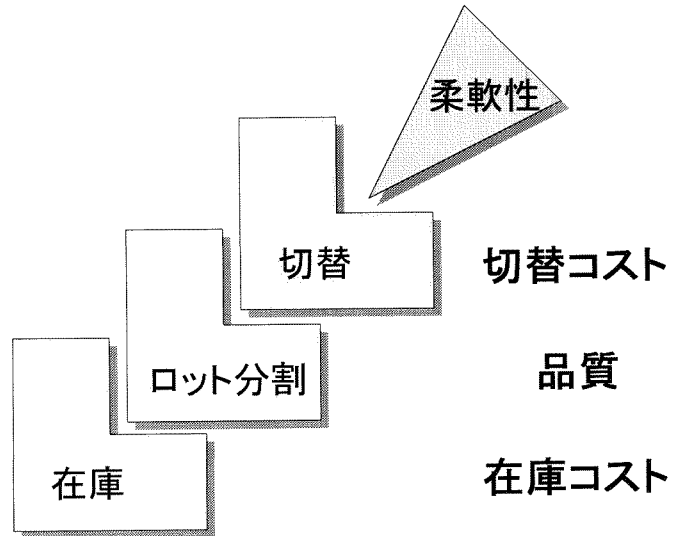
スケジューリング業務を考察



発表内容

- 研究の背景
- 現状のシステム構築のアプローチと問題点
- バッチプロセスにおけるスケジューリングの難しさ
- 提案システムの概要
- 適用例
- 今後の課題

バッチプロセスで望まれる機能



プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

13

在庫

在庫を保持するためには： サイロ, タンク, 処理用設備,
フレコン, 配管 など

在庫管理方法：

品目分離管理

同一品目追加可能

品目変更可能

品目混合管理

品目分離保持

品目混合保持

配管管理

端切り, 移送バッチ

配管コンタミ, 洗浄バッチ

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

14

在庫

在庫情報に基づいたスケジューリング

- ATP(Available to Promise), CTP(Capable to Promise)への対応
- 資材発注タイミングの決定
- バッチ開始タイミングの決定

その他

- 状況に応じた安全在庫の判断
- 状況に応じた歩留り, 不良品に対する在庫の推定

ロット分割

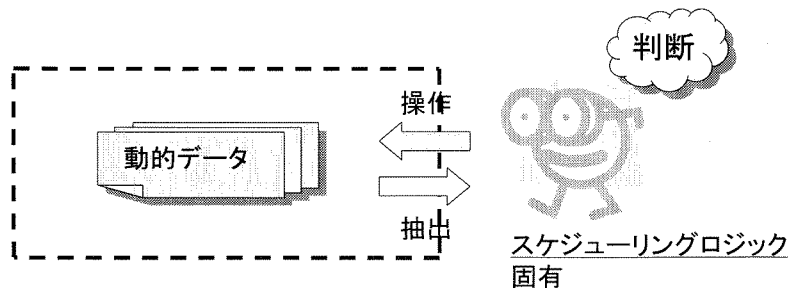
目的:

- 資源の生産能力(容量, 品質)に対応
- 生産数量に対応して生産ロットを管理
- 複数資源利用によるリードタイム短縮

必要な機能:

- 全体必要数量に対するロット数, ロットサイズの決定
- 全体必要数量の変更に対するロットの変更
- 利用資源によるロットサイズ, 生産速度の違いに対する対応
- 端数の扱い⇒中間在庫利用, 残量の再利用・再処理
- 工程間のロット分割方法の違いに対する対応

本提案のアプローチ



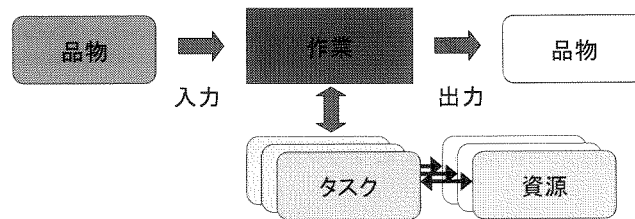
- プロセスのモデルの汎用化を目指さない。
- ガントチャート上の操作を対象とし、ガントチャート編集のための図形編集用のモデルを構築する。

発表内容

- 研究の背景
- 現状のシステム構築のアプローチと問題点
- バッチプロセスにおけるスケジューリングの難しさ
- 提案システムの概要
- 適用例
- 今後の課題

提案システムで扱うモデル

- 作業とは： スケジューリングの対象になる処理単位。
製造過程は1個以上の作業の連鎖によって行われる。
作業は1個以上のタスクによって構成され、
1個のタスクは1個の資源を必要とする。
作業は0個以上の品物の入力から0個以上の品物を出力する。
作業は、処理を行うために資源をある時間利用する。
- 品物とは： 作業に入力される原材料，作業によって出力される生成物の総称。
- 資源とは： 作業を行うために必要なもの。
設備，治具，金型，人員，エネルギーなど。



プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

19

提案システムの基本操作機能

- (1) 作業の生成・コピー・削除・属性変更
作業に対するタスク追加・削除も可能。
- (2) 作業・作業群の時間移動・拡大・縮小
作業群の場合，作業間の時間関係を維持する。
- (3) 作業・作業群の資源変更
- (4) 作業・作業グループの分割・結合
1個の作業を2個に分割，2個の隣接する作業を結合する。
- (5) UNDO/REDO
- (6) 作業のグループ化
作業は複数のグループに含まれ，作業グループは複数の作業を含む。
基本操作の対象になる。
- (7) ブロッキング
作業の移動，拡大・縮小の時に，タスクの端点(左端(作業開始時刻)，
右端(作業終了時刻))の移動位置を指定する。
この位置をブロック位置と呼び，この位置もタスクの端点で指定される。

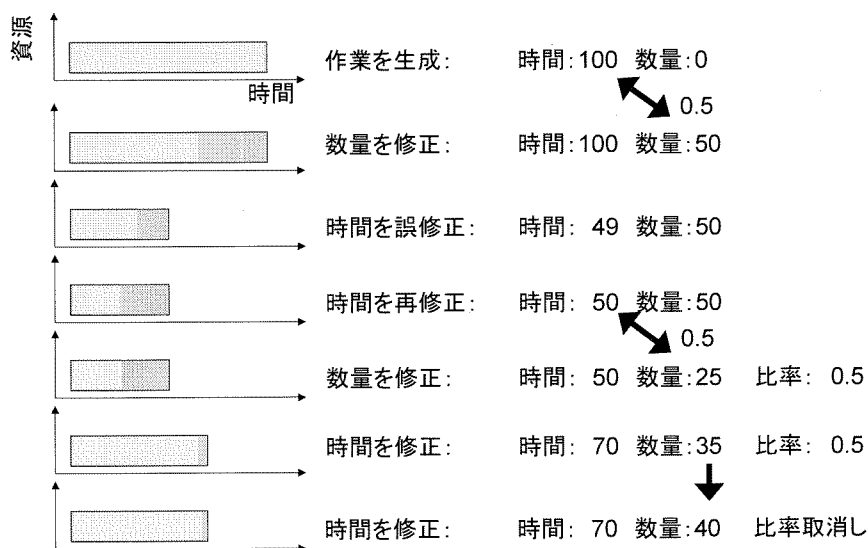
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

20

操作履歴からのマスタ情報抽出の基本方針

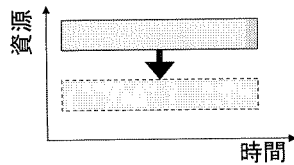
- 同一目的の操作を繰り返すことによってマスタ情報を抽出する。
- 抽出されたマスタ情報によって、ガントチャート上の操作を制限しない。
- ある操作に対して、抽出されたマスタ情報に従って自動設定される情報は修正できなければならない。
- 不要なマスタ情報は忘れる。
(あるいは有用な情報を利用しやすくする。)

操作履歴からのマスタ情報抽出例(1)



操作履歴からのマスタ情報抽出例(2)

- 各作業は変更可能資源群を保持する。



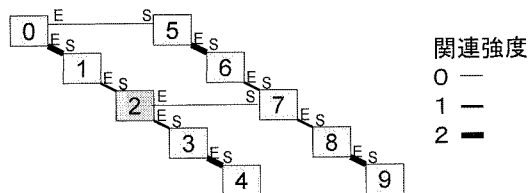
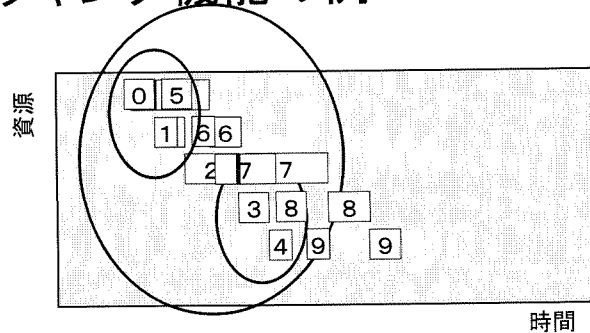
- 移動先が変更可能資源群に含まれない場合:
移動先に変更するかどうかをユーザに問合せる
変更の場合: 変更可能資源群に追加
- 移動先が変更可能資源群に含まれる場合:
移動先に移動
- 数量・時間比率関係が設定されている場合:
それに従い時間を調整する。
- 数量・時間比率関係が設定されていない場合:
移動前の比率関係を参照する。

- 何回かの操作で利用されない変更可能資源群に含まれる資源は、変更可能資源群から取り除く。

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

23

ブロッキング機能の例



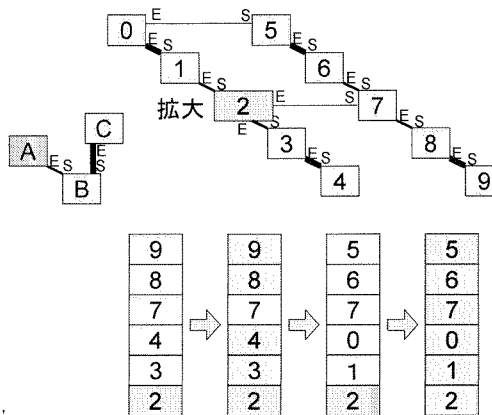
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

24

操作履歴からのマスタ情報抽出例(3)

ブロッキング機能による作業間の関連情報に基づいた作業群に対する拡大・縮小

- ①対象作業の時間を決定
- ②対象作業の下流作業(関連指定された作業の指定端点
がSの作業)を対象作業とし,
その時間を決定。
もし、対象作業の上流作業
で強度が高い関連が存在
する場合は展開しない。
- ③対象作業の上流作業(関連
指定された作業の指定端点
がEの作業)を対象作業とし,
その時間を決定。
もし、対象作業の下流作業
で強度が高い関連が存在
する場合は展開しない。
- ④展開されていない関連があれば、
②、③を繰り返す。
- ⑤関連のない作業の時間を決定



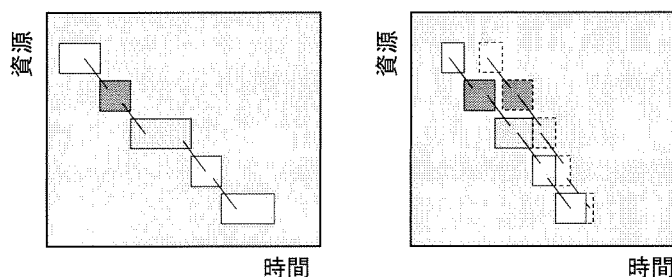
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

25

操作履歴からのマスタ情報抽出例(4)

ブロッキング機能による作業間の関連情報に基づいた作業グループの分割・結合

- 作業は時間固定or変動の属性を持つ
固定: 対象作業の時間はもとの時間の2つの作業に分かれる。
変動: 対象作業の時間は分割され2つの作業に分かれる。
数量比率が設定されていればそれに従い数量を調整する。
- 作業の属性(作業間の関連情報, グループ情報など)は継承される。



プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

26

発表内容

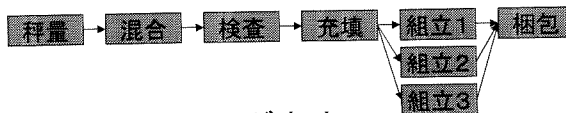
- 研究の背景
- 現状のシステム構築のアプローチと問題点
- バッチプロセスにおけるスケジューリングの難しさ
- 提案システムの概要
- 適用例
- 今後の課題

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

27

適用例(口紅製造工程)

(1)対象プロセス



(2)スケジューリング方法

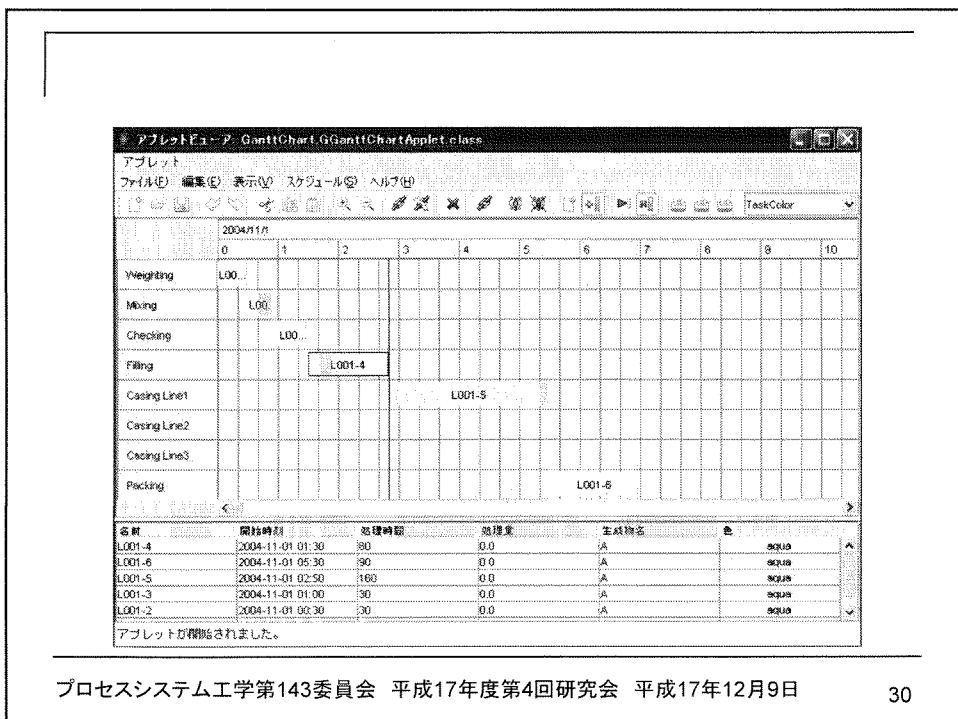
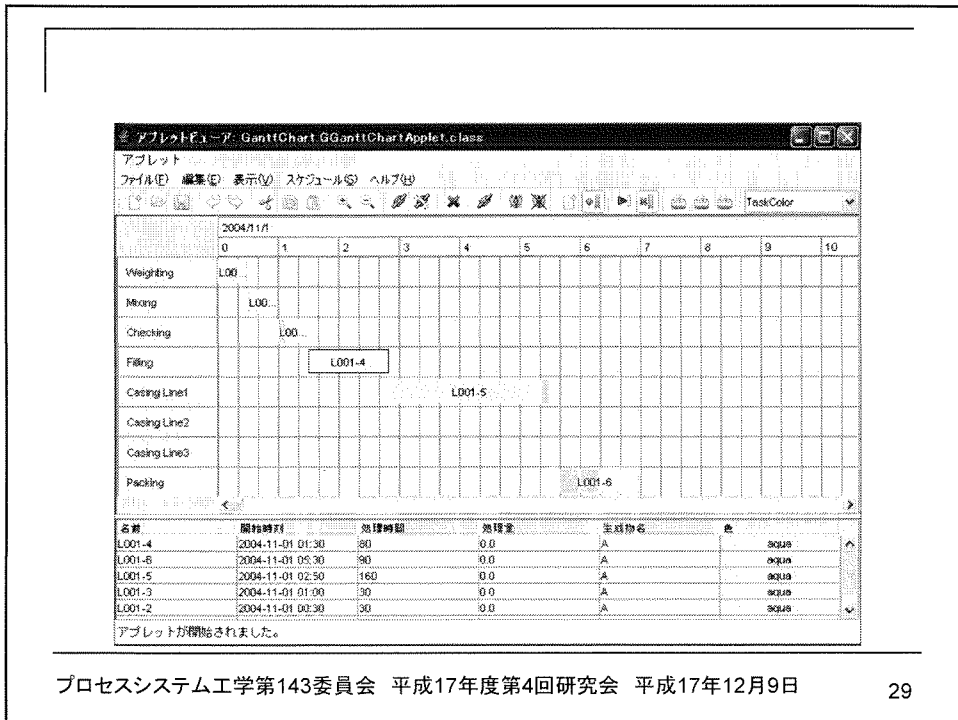
- 日単位の生產品目・数量が与えられる.
- 仕掛情報を調整する.
- 翌日のスケジュールを立案する.
- 翌々日の上流作業を立案する.

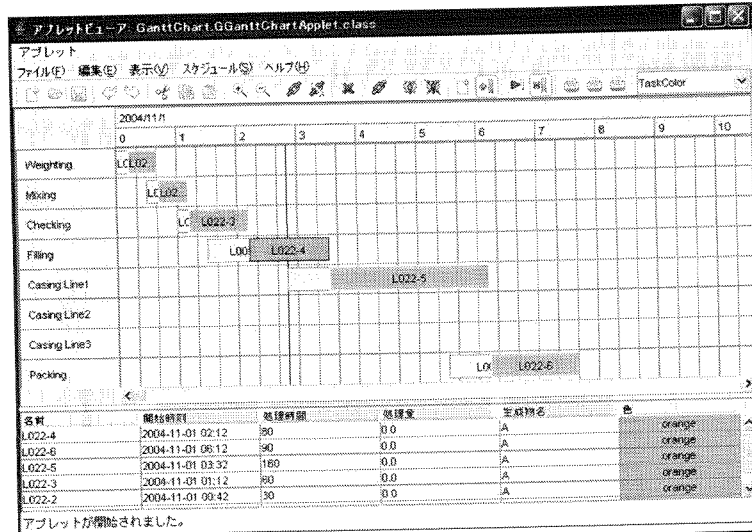
(3)条件

- 生產品目は類似している.
- 充填工程がボトルネックで連続して作業を行う.

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

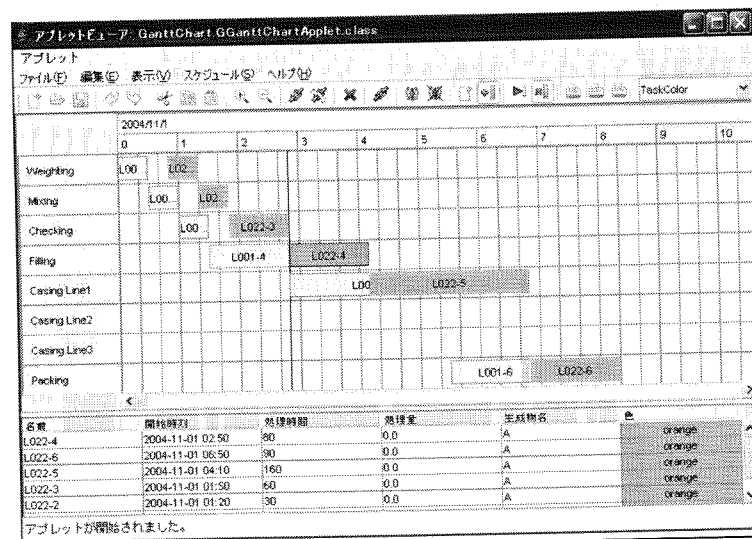
28





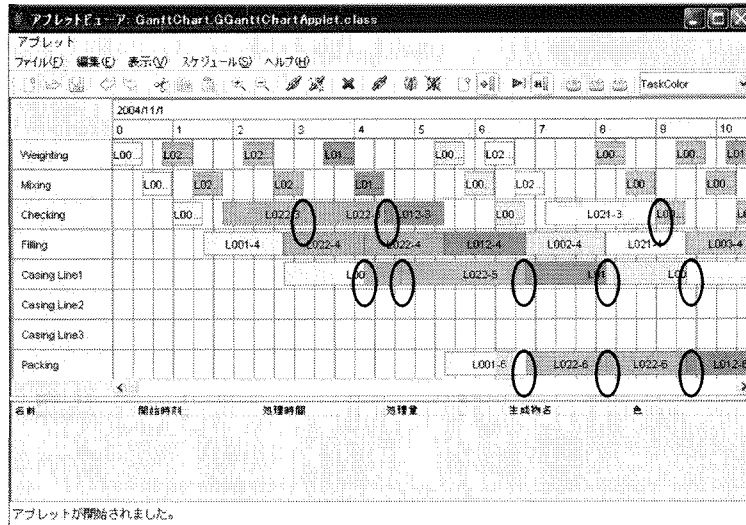
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

31



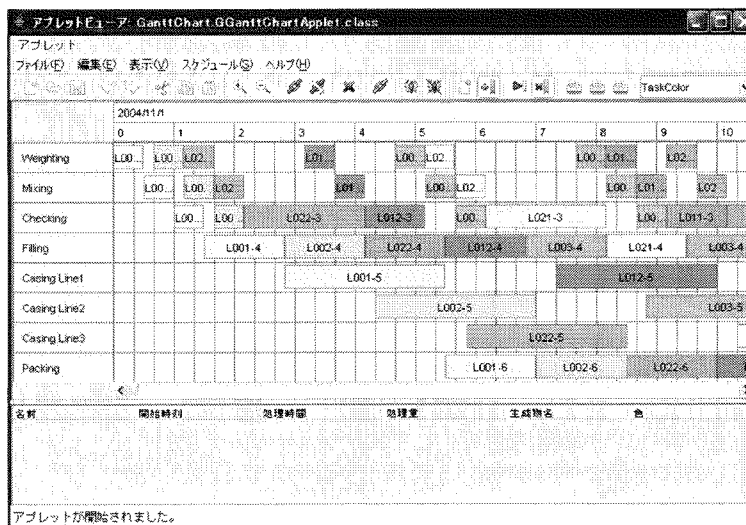
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

32



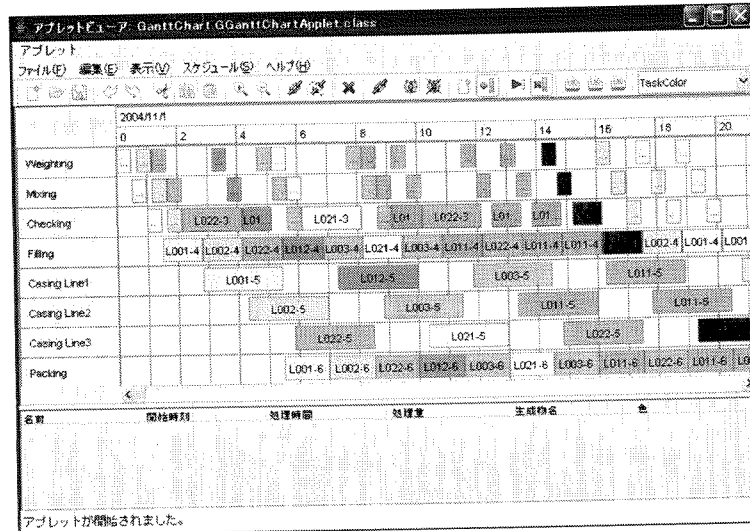
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

33



プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

34

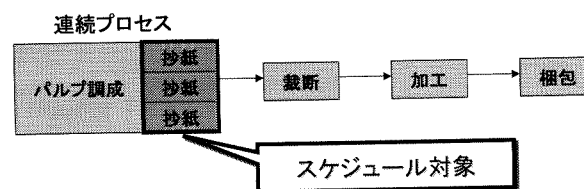


プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

35

適用例(製紙工程)

(1) 対象プロセス



(2) スケジューリング手法

- 抄紙を行う連続プロセスのスケジュールを決定することが重要である。
- 調成方法・抄紙・コーティング方法・中間品形態の違いによってグルーピングして製造する。
- 加工プロセスでの制約を考慮してスケジューリングを行う。
- 概略のスケジュールから詳細のスケジュールに変更する。

プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

36

適用例(製紙工程)

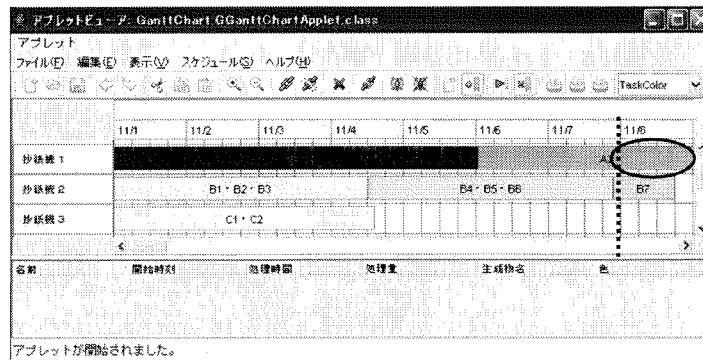
(3)条件

- 生産量は、一週間単位で製品の数量で指定される。
- 連続プロセスでは、抄紙機(複数台)の能力によって生産量が制約される。
- A1, A2は調成をできるだけ同一製品で連続して行いたい。
- B4, B5, B6は加工工程が複雑なため、並行作業を行いたくない。
また、他のBの製品ともできれば並行したくない。
- Cはいつでも製造可能。

1週間のオーダー				製品-抄紙機			
製品グループ	t	製品	t		1	2	3
新聞紙	A	A1	1260	A1	250 t/d	450 t/d	-
		A2	470	A2	110 t/d	220 t/d	-
	B	5500	B1	1200	B1	350 t/d	700 t/d
B2			800	B2	350 t/d	700 t/d	-
B3			700	B3	350 t/d	700 t/d	-
B4			1500	B4	-	700 t/d	700 t/d
コピー用紙		B5	300	B5	-	700 t/d	700 t/d
		B6	500	B6	-	700 t/d	700 t/d
		B7	500	B7	-	700 t/d	700 t/d
ティッシュペーパー	C	C1	750	C1	-	-	400 t/d
		C2	700	C2	-	-	400 t/d
生産能力			1240 t/d				

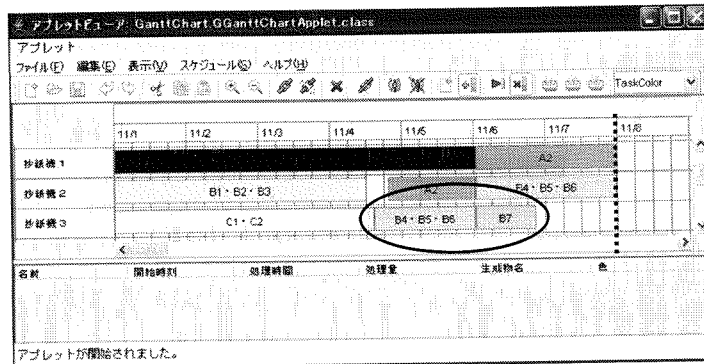
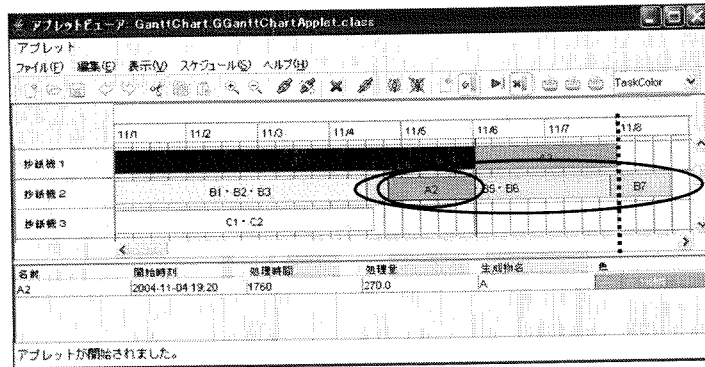
プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

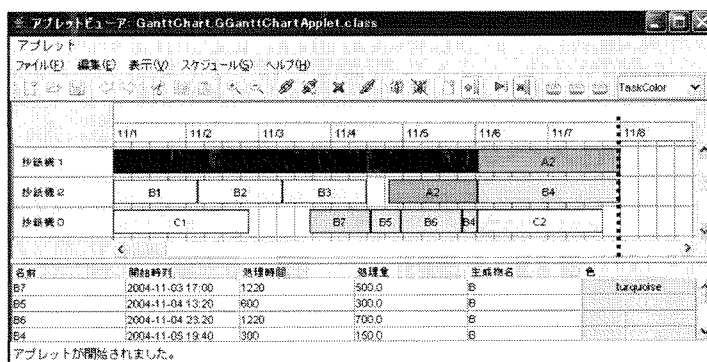
37



プロセスシステム工学第143委員会 平成17年度第4回研究会 平成17年12月9日

38





発表内容

- 研究の背景
- 現状のシステム構築のアプローチと問題点
- バッチプロセスにおけるスケジューリングの難しさ
- 提案システムの概要
- 適用例
- 今後の課題

今後の課題

- 種々のプロセスを想定した検証
＜マスタ情報抽出・利用方法の検討＞
- 実プロセスへの適用による検証
＜操作ログ解析によるスケジューリングロジック
抽出・利用方法の検討＞

添付資料⑤

Hai Xue, XueRui Zhang, Yasuhiro Shimizu, Shigeru Fujimura:
“Master Information Extraction Mechanism for Production Scheduling System”
International Conference on Electrical Engineering 2006,
9-13 July 2006, YongPyong Resort, Korea (2006)

Master Information Extraction Mechanism for Production Scheduling System

Hai Xue*, XueRui Zhang*, Yasuhiro Shimizu*, Shigeru Fujimura*

With the high speed innovation of information technology, many production scheduling systems have been developed. However, a lot of customization according to individual production environment is required, and then a large investment for development and maintenance is indispensable. Therefore now the direction to construct scheduling systems should be changed. The final objective of this research aims at developing a system which is built by it extracting the scheduling technique automatically through the daily production scheduling work, so that an investment will be decreased. To develop such a production scheduling system, this paper shows a prototype of Gantt Chart Interface System that emulates the production scheduling work on a paper. First, how a production schedule is made by production scheduling operators is analyzed. Through the analysis of operator's operations, this paper proposes how to extract the master information that is required by production scheduling. This extraction mechanism should be applied for various production processes for the interoperability. Using the master information extracted by the system, the Production scheduling operators can be supported to accelerate the production scheduling work easily and accurately without any restriction of scheduling operations. By installing this extraction mechanism, it is easy to introduce scheduling system without a lot of expense for customization. In this paper, a model for expressing a scheduling problem is proposed, and the extraction mechanism of the master information and operator support functions are also proposed. An overview of the prototype system is shown. Finally the prototype system is applied for a sample production process, and the effectiveness of this system is evaluated.

Keywords: Production scheduling, Gantt chart, Production management, Operation scheduling, Master Information.

1. Introduction

In recent years, with the requirements for high-mix low-volume production, manufacturing styles and facilities have been changed. So, a production scheduling system must be developed for each production plant individually, and it can not be developed as a general-purpose system that can be used by different production plants. And when the condition of the production site is changed or the new products are put into production, the correspondent production scheduling system also must be modified. Even if high investments are taken to develop such a system at first, high maintenance investments for it might be needed furthermore.

Using such developing technique, it is difficult to follow the rapidly changing situation of plants. So, the new generation of system is needed. The new system should have such features as the master data and scheduling logical for each plant may not be installed individually at the first step to use, the useful information for the future scheduling manipulation will be extracted through the scheduling manipulation by a scheduler, and it can be used as general-purpose. For this target, firstly, to analyze and simulate the production scheduling manipulation that usually done on paper, the Gantt Chart Interface System is developed and effectiveness is evaluated under simulation type tests using several kinds of virtual processes. [1]

This paper proposes the framework of the self-construction scheduling system that can extract the useful information for the future manipulation through the common manipulations of a scheduler in the scheduling process. The new concept for self-construction scheduling system and several assistant functions for a scheduler to simplify the scheduling manipulations will be shown. In

* Graduate School of Information, Production and Systems,
Waseda University, Japan. (xuehai@toki.waseda.jp)

chapter 2, the Gantt Chart Interface System without assistant mechanisms is introduced, in chapter 3, the guidelines to develop such assistant functions for the new system are proposed, and in chapter 4, some assistant functions developed according to the guidelines are explained.

2. Gantt Chart Interface System

The scheduling manipulation is the work that decides the production operations that will be done with which resources and at what time. The production operation is the production of activity using some resources. These resources mean the facility or worker in plant.

Gantt Chart Interface System is used to simulate the scheduling process that usually done on paper. The appearance of Gantt Chart Interface System is shown as Figure1. It includes two panes. The upper one is used to show the Gantt Chart and the lower one is used to show attributes of operations. In the Gantt Chart pane, the vertical axis shows resources, and the horizontal axis shows time and basic manipulations are performed by using a mouse. In the attribute pane, the detail information of selected operations is shown. The scheduling manipulation log can be saved by the system, and used to analyze the behavior of scheduling manipulation. [2]

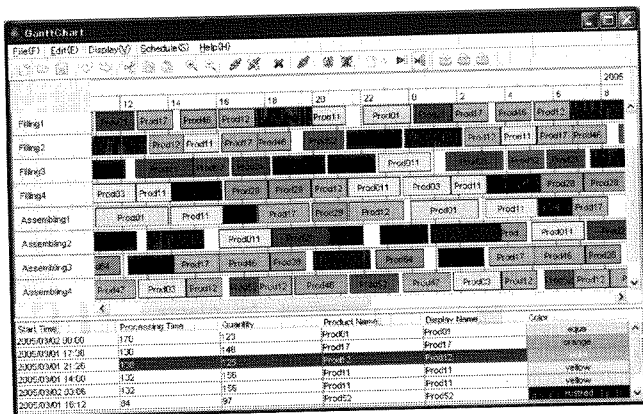


Fig. 1 Gantt Chart System

The basic manipulations of using Gantt Chart System are as following:

(1) Creating, copying, and deleting operation

In the Gantt Chart System, the operation can be created arbitrarily with any resource and at any time point. Any basic manipulation about operation, just like copying and deleting, can be easily done.

(2) Grouping

Grouping function can permanently organize a diversity of operations to one unit as manipulated object as same as an operation unit until the group is cancelled. Using group unit as manipulated object, many iterative manipulations

can be avoided when some repeated manipulations are performed to these plural operations.

(3) Moving an operation or an operation group on the time axis

The operation unit and the group unit can be moved to arbitrary time coordinate on the time axis by mouse dragging.

(4) Moving an operation or operations on the resource axis

An operation unit or some operation units that are allocated with the same resource can be moved to the other resource without changing the time coordinate.

(5) Changing the operation time width of an operation or an operation group

The manipulations expanding and shrinking the time width of operation can be performed by dragging the operation bar boundary on Gantt Chart pane. If the manipulated object is operation group, the time width of the operations in the group is calculated by the system from the expanding or shrinking time ratio of the indicated operation.

3. Definition for the self-construction scheduling system and the guidelines to develop assistant functions

In this chapter the guidelines for the development of assistant functions for the new system are proposed.

3.1 Self-construction scheduling system

Through the scheduling process, the system itself can extract the information that is useful to help the scheduler to simplify future scheduling manipulations by assistant functions.

3.2 Information needed to be extracted

(1) Static information—used as the constrained conditions or the priority conditions in the scheduling process

The static information can be material, BOM, yield rate, production capacity of the resource, relationship between operations, available resources for the production operation, production operation setup time, unavailable time of resource, load capacity, inventory capacity and so on.

(2) Dynamic information—set up in scheduling process

The dynamic information can be the manipulations of creating or deleting operation, changing the operation attribute, changing the order of operations and the starting time of operations and so on.

3.3 Guideline description

3.3.1 Learnable

The system can accumulate the generalized information extracted from the repetition of similar scheduling

manipulations (main object of extraction is the static information).

The system can accumulate the desired and intended scheduling manipulation information (main object of extraction is the dynamic information).

3.3.2 Practical

The system can utilize the information to automatically set actions by assistant functions.

The system can utilize the information to give to the scheduler some indications.

3.3.3 Free

The result automatically set by assistant functions can be corrected and cancelled by a scheduler.

The system cannot limit the scheduler manipulations even if the manipulations disobey the information.

3.3.4 Discarding

The system can discard the unutilized information.

The system can discard the information in which the automatic setting action is based on. This automatic setting action is that action that is corrected or cancelled through manual manipulations.

4. Examples of master information extraction and assistant functions that follow the guidelines

4.1 Production capacity

The production capacity of resource is the ratio of operation quantity to operation time width.

PRODUCTION CAPACITY =
OPERATION QUANTITY / OPERATION TIME WIDTH

The adjustment will be frequently done when the scheduler sets up the schedule and in usual situation the resource can execute certain quantity of production operation in unit time. If either operation quantity or time width is changed, the other one should also be changed at the same time. The system should extract the corresponding capacity of the resource for different operations through the modifying manipulations about operation quantity and time width, and use it to automatically modify the other one of operation quantity or time width when one of them is changed.

4.1.1 Extraction and utilization of production capacity

To avoid covering the saved ratio value caused by mistaken manipulations, the system saves the ratio which is extracted from quantity modification or time width modification as different values, named as QUANTITY RATIO and TIME RATIO, respectively. Using this mechanism, the system can assure that the saved ratio cannot be influenced by continuous modifying manipulations that focus on one operation attribute. When the scheduler performs the modifying manipulations about

the operation quantity or time width, the system will save the new ratio as the temporary ratio of QUANTITY RATIO or TIME RATIO. If it is equal to any previously saved ratio, it should be saved as production capacity.

After the system has extracted the production capacity information, the assistant function can automatically set either the operation quantity or time width when one of them is modified. If the scheduler does not agree with the result of the automatic settings, he can change it manually and then the system will discard the current used production capacity here.

4.1.2 Algorithm to set the operation quantity and time width

When the scheduler modifies the operation quantity or time width, the system will act according to the following procedures:

If the production capacity is not saved in the system, it will compare the new ratio of quantity to time width with the temporary ratio. If new ratio is equal to temporary ratio, the new ratio will be saved as production capacity.

If the modified object is the value set by the system, the system discards the current used production capacity at this point; otherwise the system adjusts operation time width and quantity.

The meanings of the notations in the Fig.2 :

Q : the production quantity

T : the production time width

ratio : the production capacity

ratio_Q : the ratio of operation quantity to time width that is extracted when the operation quantity is modified

ratio_T : the ratio of operation quantity to time width that is extracted when the operation time width is modified

auto_Q : the operation quantity automatically set by the system

auto_T : the operation quantity automatically set by the system

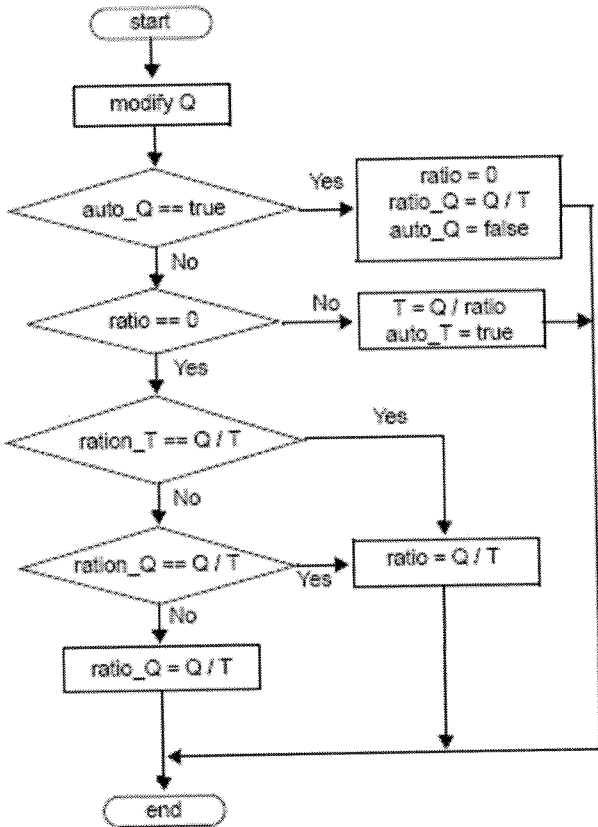


Fig. 2 Algorithm to set the operation quantity and time width

4.2 Available resources for a certain operation

At a plant, there are some resources, such as facilities or workers, which can execute the same production operations. In this paper, they are called available resources.

In scheduling process, the scheduler maybe allocates the alternative resource to the operation. Then, the scheduler should choose the most suitable resource from all available resources. Beyond it, the different resources maybe have different capacity, so the moved operation with certain quantity should be modified with respect to time width. The system should extract the available resources and use them to support the assistant functions. These assistant functions can automatically set the time width of the operation after it has been moved to others resources and give some indications when a scheduler wants to allocate alternative resource to the operation.

4.2.1 The extraction and utilization of the available resources

The system will record all the used resources in the scheduling process for the operation as available resources.

According to the production capacity of available resource, the system will adjust the operation time width when it is moved between available resources.

4.2.2 Algorithm to set the time width

When the scheduler wants to allocate the alternative resource to the operation, the system will indicate the available resources of the operation. And if the scheduler has moved the operation to another resource, the system will judge whether it is in the available resource list. If it is not included, the system will add it to the list; otherwise if the system holds the production capacity of the resource, the system will adjust the time width according to the capacity and operation quantity.

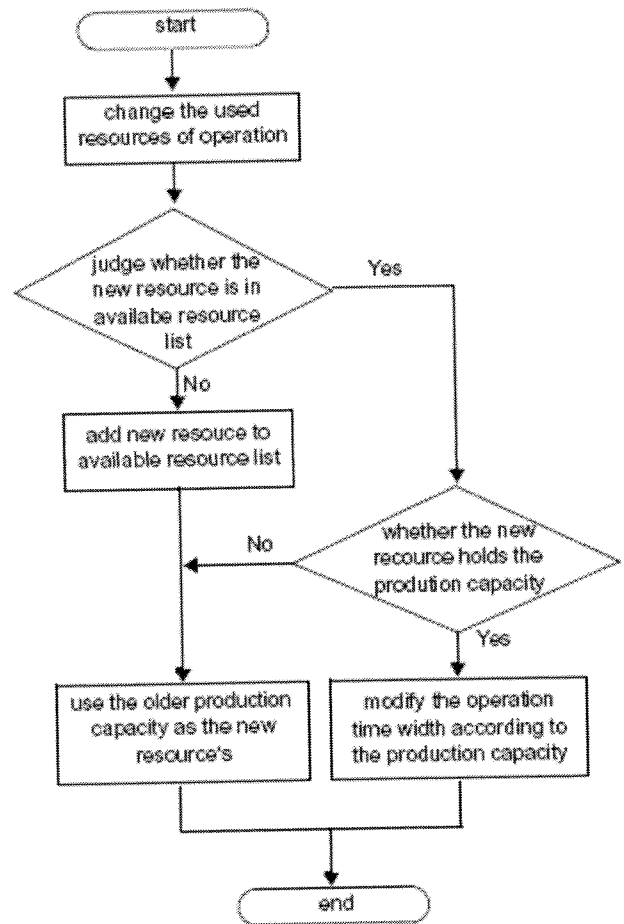


Fig. 3 Algorithm to set the time width for alternative resource

4.3 Relationship between operations

The information of the relationship between operations includes the order of operations and the delay between operations.

In production process, there are some relationships between operations. When the modifying manipulations to operations are performed in scheduling process, it always generates the situation in which the order or delay of operations conflict with the relationship of some operations. Then the adjustment about the time axis coordinate of these operations is needed. The system should extract the

relationship of operations and use it to automatically adjust the time coordinate of operations.

4.3.1 Extraction and utilization of relationship of operations

The scheduler always performs some manipulations about the time coordinate of operations, and then the system can save the direct connection information between operations. It is the base of automatic adjustment. When the scheduler manually adjusts the automatically set result, the system will modify the saved relationship according to the information extracted from these manipulations. If the new relationship conflicts with older relationships, the system should reduce the strength of older relationships or delete the relationship that will not be used anymore by the scheduler.

Using the relationship information, the system can calculate the appropriate time coordinate for operations, and automatically move operation to there.

4.3.2 Algorithm using relationship between operations to adjust the time coordinates of operations

When some selected operations need to be automatically adjusted, these operations will be put into the array named unmoved array. And the operation chose as original operation of adjustment is put into the array named moved array at first. The steps for adjusting the time coordinate of every selected operation are introduced as following:

(1) Through the relationship of latest moved operation in moved array, find out all operations holding relationship with it and move them to the array named waiting array.

(2) Decide the priority of operations in the waiting array according to next algorithm; then move the operation with highest priority to appropriate time coordinate on Gantt Chart pane and put it into the moved array.

(3) Repeat step 1 and 2 until all operations are put into the moved array.

The steps for judgment the priority of operations in the waiting array are introduced as following:

(1) At first, consider the strength of relationship and the stronger one get the higher priority. If the priorities are equal, go to step 2.

(2) If the operation and the former operation which takes it into the waiting array are in the same group, it has higher priority than the operation that are not in the same group with former operation. If the priorities are equal, go to step 3.

(3) Compare the distance between the operation and original operation, the shorter one has the higher priority. Otherwise, they have the same priority.

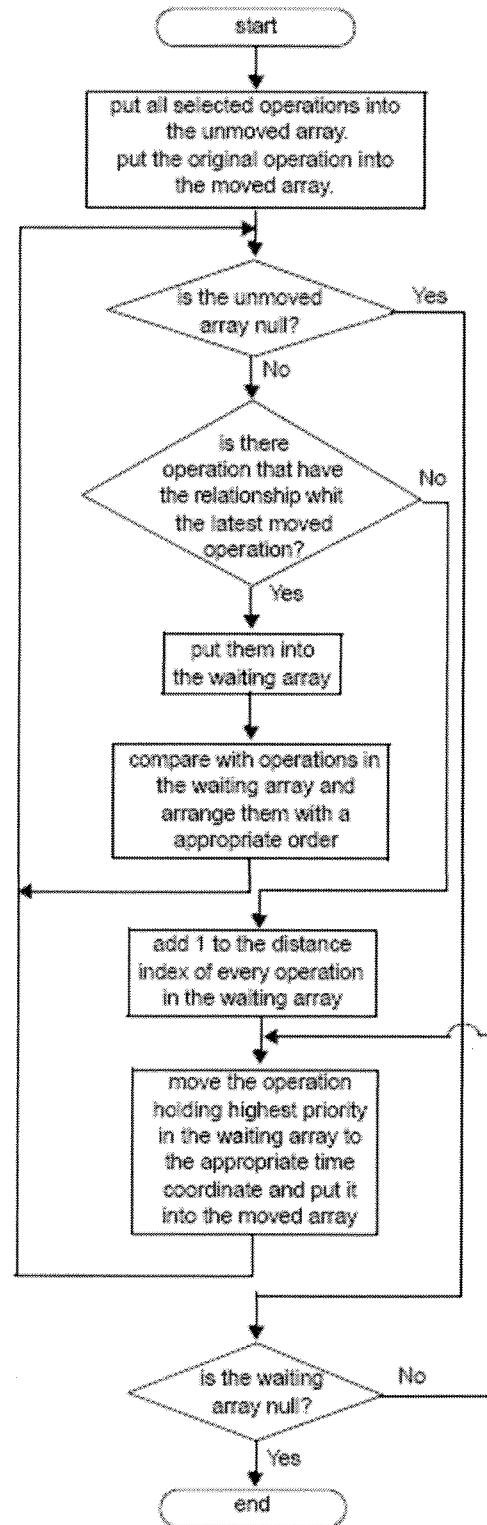


Fig. 4 Algorithm using relationship between operations to adjust the time coordinates of operations

5. Conclusion

In this paper, a new system that can extract the useful information for the future manipulations through the common manipulations of a scheduler in the scheduling process is proposed. For developing the new system, the guidelines to develop such assistant functions for the new system and the examples of assistant function are explained.

References

Periodicals:

- [1] S.Fujimura, K.Woo, "Gantt Chart Interface System for Production Scheduling Work," *18th ICPR (International Conference on Production Research), Italy (August 2005)*
- [2] Y.Shimizu, S.Fujimura, "Gantt Chart System for Analysis of Production Scheduling Work," *Proceeding of Electronics Information and Systems Conference Electronics 2004, Information and Systems Society, I.E.E of Japan. MC5 PP.615-616*