

調理手順スケジューリングモデルに対するルール設計と検証

周 潔瑩¹ 坪井 哲也² 長谷川 大輔² 石川 浩司²
木村 恵介² 田中 未来² 大関 和典² 繁野 麻衣子¹

受付日 2018年2月1日, 再受付日 2018年3月6日,
採録日 2018年4月2日

概要: レストランの顧客満足度は, 料理の品質だけではなく, 料理提供の順序とタイミングにも強く関係している. 料理の品質は, 料理ごとに定められている調理手順に従うことで維持できるが, 料理提供の順序やタイミングは, 注文された複数料理の組合せにより, 各々の調理手順を組み立てなければならない. 本研究では, 調理手順を組み立てるスケジューリング問題を扱う. まず, スケジュールを行う調理手順を簡素化したモデルを作成し, 提供までの時間とグループ客への同時提供を重視したルールを提案する. そして, 評価実験により提案したルールを比較し, ルールの有効性と結果にもたらす影響を考察する.

キーワード: 調理工程, オンラインスケジューリング, ジョブショップスケジューリング

Design and Validation of Rules for a Cooking Process Scheduling Model

JIEYING ZHOU¹ TETSUYA TSUBOI² DAISUKE HASEGAWA² KOUJI ISHIKAWA²
KEISUKE KIMURA² MIKU TANAKA² KAZUNORI OZEKI² MAIKO SHIGENO¹

Received: February 1, 2018, Revised: March 6, 2018,
Accepted: April 2, 2018

Abstract: Customer satisfaction in restaurants is strongly related not only to quality of dishes but also to ordering and timing of when the dishes are provided. The quality of dishes is guaranteed by procedure guidelines. However, to keep service quality of providing, cooking processes for many ordered dishes have to be arranged. This research considers the cooking process scheduling. Scheduling rules are discussed for a model with simple processes by being focused on completion time and to providing dishes simultaneously. Experimental evaluations are performed in order to clarify the effect of the rules.

Keywords: cooking process, online scheduling, job shop scheduling

1. はじめに

レストランの顧客満足度は, 料理の品質だけではなく, 料理提供の順序とタイミングにも強く関係している [12]. そのため, 注文された料理の組合せに従い, 「前菜料理はできるだけ早く提供する」「料理提供の間隔を適度に空ける」「同じグループ客の料理はなるべく同時に完成させる」などの料理提供に関する条件を考慮しながら, 調理者は複数の注文料理の調理工程の組合せ, 加熱する料理の順序などを

決定しなくてはならない. このように, 料理ごとの調理工程が決まっているときに, 複数料理に対してそれらの調理工程を組み合わせ, 工程の処理順序と処理開始時刻を決定することを調理手順スケジューリングとよぶ. 調理手順スケジューリングでは, 料理提供のタイミングだけでなく, 料理の質や作業の効率性も考慮しなければならない. 料理の質は調理を中断すると低下するので, 一度調理を開始した料理は続けて調理工程を行うことが望ましい. また, 多くの注文に対して効率的に作業を行い, 提供までの待ち時間を減らさなければならない. そして, 随時注文を受け付けているので, 受けた注文状況に応じて, リアルタイムにスケジューリングを行い, 調理手順を指示するオンラインスケジューリングの一種である.

¹ 筑波大学
University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan
² 株式会社サイゼリヤ
Saizeriya Co., Ltd., Yoshikawa, Saitama 342-0008, Japan

実際の調理現場では、調理者の経験と勘によって調理工程が組み立てられるので、料理提供の質が一定ではない。そこで、調理手順スケジューリングを特定の料理群に対してモデル化し、シミュレータの開発提案がなされている [11]。しかし、特定の現場に対する実用化を目指していることから、料理ごとの細かい制約が多く、調理手順を決定するルールの影響を判断しにくい。さらに、ベルトコンベア式の加熱オープンを対象としているので、料理をベルトコンベアに置く場所なども細かくモデル化する必要がある、対象現場に特化したモデルになっている。

一方で、調理手順スケジューリングは生産スケジューリングのなかのジョブショップスケジューリングの一種と見なせる [3]。なぜならば、決められた料理の調理工程（ジョブ）を、加熱機器や調理者の手作業といったリソース（マシン）に割り当てる順序を決める問題だからである。ジョブショップスケジューリングでは、それぞれの生産現場に対応した制約条件を付加した問題が扱われており、これらのなかには調理手順スケジューリングに適用可能なものもある。たとえば、ジョブ間に一定の時間間隔を空けることを条件に付しているスケジューリング問題 [6], [9] があるが、これは、加熱機器が十分に多くあるときに、手作業のみをスケジューリング対象として加熱時間の間隔を空けることに対応する。処理工程間の間隔には上下限を与えることができるので、一度調理を開始した料理を放置してはいけない条件にも対応できる。工程間を連続で行わなければならないという制約 [2] は、調理手順においても、連続して処理する調理工程、あるいは、連続して処理することが望まれる調理工程に適用できる。ジョブの処理順序に依存した前処理時間を考慮すること [1] は、調理工程間の移動を考慮する際に対応する条件になる。さらに、料理の提供間隔を適度に空けるために、料理の完成時刻を調整することは、時間制約枠付きのスケジューリング問題に対応し、時間制約枠付きのスケジューリング問題についても多くの研究がある [4]。

このように、既存のスケジューリングモデルの条件を適用することで表現できる設定もあるが、調理手順スケジューリングにおいて重要な条件は**同時提供**と**同時作業**であり、これらを扱ったスケジューリングに関する研究はほとんどないといえる。同時提供とは、指定された複数料理を同時に完成させることである。同じグループ客から注文された料理を時間差なく完成させることで同時に提供することができ、料理提供の質の向上につながる。つまり、同時提供の達成度は料理提供の質に直結しており、調理手順スケジューリングの目的関数となる。同時作業とは、ある調理工程において複数料理を同時に処理することである。通常、ジョブショップスケジューリングでは1台のマシンで同時に処理できるジョブはただか1個であるが、調理手順スケジューリングにおいては、調理工程によっては同

時作業ができる。調理者が同じ調理工程を別々に逐次行うよりも同時に作業することで時間短縮につながる。さらには、同時に複数料理を加熱できる加熱機器も考えうる。つまり、マシンに同時に複数ジョブを割り当てることができるといった特徴である。本研究では、同時提供と同時作業の特徴が浮き彫りになるような簡素な調理手順スケジューリングのモデルを作成する。そして、そのモデルに対して調理手順を決定するルールを提案し、その有効性と結果にもたらす影響を評価実験によって調べる。オンラインスケジューリングの性能評価では計算機による性能評価が欠かせない（文献 [8], [10] など）が、調理手順スケジューリングのように多くの制約をそのまま用いると、ルールの影響が分かりにくいために、簡素化したモデルの構築は重要である。

本論文の構成は以下のとおりである。2章では、調理手順スケジューリングの簡素なモデルを示し、3章では、加熱工程の特徴に応じて、提供制限時間を超過する料理の削減と、同時提供を重視したルールを設定する。まず、同時提供のための加熱開始時刻の設定ルールを述べ、次に、同時作業により効率化を図るルールを示す。そして、4章で、評価実験により、これらのルールによるスケジュール結果を比較する。このとき、ルールの検証とともに、加熱機器の台数や種類についても比較検討する。最後に5章でまとめを述べる。

2. 調理手順スケジューリング

調理手順スケジューリングの特徴を表す簡素なモデルを作成する。すべての料理の調理工程は手作業工程と加熱工程からなり、手作業工程は調理者が行い、加熱工程は加熱機器で処理する。加熱工程中は調理者の作業は不要である。すべての料理の調理工程は以下の5工程から構成されるとする。

1. 準備工程（手作業工程）
2. 加熱開始工程（手作業工程）
3. 加熱（加熱工程）
4. 加熱終了工程（手作業工程）
5. 仕上げ工程（手作業工程）

「準備工程」は食材を揃えたり下準備を行う調理工程を想定している。「準備工程」は加熱前作業のために、処理後に放置しても料理の品質には影響しないとする。「加熱開始工程」は加熱を開始するための手作業であり、鍋を火にかけるといった作業を想定している。「加熱開始工程」が行われると引き続き「加熱」が開始される。そのため、加熱機器が使用中であると「加熱開始工程」を行うことはできない。「加熱」が終了するときには、鍋を火からおろすといった「加熱終了工程」が必要である。最後に盛り付けなどの「仕上げ工程」を行い、完成となる。実際には、加熱を複数回行ったり、「加熱」工程中に必要な手作業があった

りすることもあるが、加熱が必要な料理はこの5工程が基本になっているといえる。料理ごとに各調理工程にかかる時間はあらかじめ分かっているとす。

調理者は1人であり、手作業工程はこの調理者がすべて行う。同一種類の料理の同じ調理工程は同時作業が可能であるが、異なる種類の料理では調理工程によっては同時作業可能である。同時作業できる料理数は料理や工程ごとに異なる。同時作業で、複数の注文料理の調理を行うと、1つの料理を調理するときよりも調理工程にかかる時間は長くなる。同時作業は作業開始が同じときにのみ可能であり、作業途中から同時に行うことはできない。

加熱工程を行う調理機器は2種類を考える。同時作業はできないが同機種が複数台ある加熱機器と、同時作業できるがその分時間が延長される加熱機器である。前者は鍋によるコンロ加熱、後者は電子レンジによる加熱を想定しており、各々、コンロ加熱、電子レンジ加熱とよぶこととする。料理ごとにどちらの加熱機器を使用するかはあらかじめ決まっている。電子レンジ加熱の同時作業は、直前の「加熱開始工程」を同時作業で行ったときのみ行える。

オンラインの環境を想定しており、注文を受けた後に調理開始できるとするが、注文を受けてから提供までの制限時間がある。これを提供制限時間という。注文料理は制限時間以内に完成されることが望ましく、かつ、早ければ早いほどよいとする。また、注文は伝票ごとに分かれて受け付けており、同じ伝票の注文料理はなるべく同時提供をする。

注文を受けた料理に対して、提供制限時間を守り同時提供ができるように、調理者が行う手作業の順序を決定するのが、本研究で扱う調理手順スケジューリングである。

3. 調理手順決定ルール

本章では、調理手順スケジューリングに対して調理手順を決定するルールについて述べる。

3.1 基本ルール

オンライン環境のスケジューリングでは、各時刻において各ジョブの優先度を求め、優先度が最も大きいジョブが次に作業を行うジョブとして選択される。この優先度を決めるディスパッチングルールは様々あり、到着順(FIFO)、処理時間順(SPT)、納期順(EDD)などの基準がある[7]。本研究では、文献[5]に基づき、納期余裕時間最小優先(SLACK)ルールを採用する。注文料理 j の注文時刻に提供制限時間を加えた時刻を d_j とする。つまり、注文料理 j は時刻 d_j までに完成させることが望ましい。注文料理 j の時刻 t において未処理の調理工程の総処理時間を $l_j(t)$ とすると、納期余裕時間 $s_j(t)$ は $(d_j - t) - l_j(t)$ で与えられる。SLACKルールを用いた調理手順スケジューリングでは、納期余裕時間 $s_j(t)$ が小さい料理ほど大きい

優先度を与える。調理者が作業中の工程が終了した時点、あるいは、注文が到着した時点や「加熱」工程が終了した時点など新たに調理工程の処理に着手できるときに、 $s_j(t)$ が最も小さい注文料理を選択し、その注文料理の着手できる未処理の調理工程を処理する。各注文料理に対して、処理済み調理工程の直後にある着手可能な未処理の調理工程をその注文料理の次工程とよぶ。

優先度以外に調理手順に影響する要因として、同時作業を行う調理工程の選択があげられる。時刻 t において注文料理 j が優先度最大(納期余裕時間最小)で選択されたとする。注文料理 j の次工程 p の同時作業可能な料理数を $K(p)$ とし、 p と同時作業可能な調理工程を次工程にもつ注文料理の集合を $C(p, t)$ とする。便宜上、 $C(p, t)$ は注文料理 j を含むとし、 $K(p) = 1$ のときは同時作業不可を表す。 $K(p) \geq 2$ のときは、効率的に作業を行うために、 $C(p, t)$ から選択した注文料理の次工程と同時作業を行う。このとき $|C(p, t)| \leq K(p)$ であれば、 $C(p, t)$ に含まれるすべての注文料理を選択して、次工程を行うことができる。一方、 $|C(p, t)| > K(p)$ であるときには、 $C(p, t)$ のなかから同時作業で処理する注文料理を選択しないといけなく、そこで、 $C(p, t)$ のなかで優先度の順に同時作業を行う注文料理を選択する。ただし、同時作業を行うとして選択された注文料理 j' に対して、 j' と同時提供する注文料理の集合を $V(j')$ としたとき、 $V(j')$ に含まれ、 $C(p, t)$ にも含まれている注文料理は同時作業することで同時提供を実現しやすくなる。逆に同時作業を行わないと、同時提供できない可能性がある。ゆえに、注文調理 j' が選択されたとき、 $V(j') \cap C(p, t)$ をすべて同時作業で選択するようにするが、 $|V(j') \cap C(p, t)| > K(p)$ であるときには、もともとすべての注文料理を同時作業として選択できないので、可能な数のみ選択して同時作業を行う。以上の同時作業調理工程選択手続きをAlgorithm 1に記載する。

3.2 比較ルール

同時提供を達成するための「加熱開始工程」の開始時刻を制限するルール、および、作業の効率化を図るための同時作業の選択対象制限に関するルールを設定する。

3.2.1 「加熱開始工程」の処理開始可能時刻設定

異なる種類の注文料理を同時提供するためには、調理工程や調理時間の差を考慮した様々な工夫が必要である。

総処理時間が異なる注文料理が同時提供関係である場合、総処理時間の短い注文料理の処理開始時刻を遅らせないと、総処理時間の長い注文料理との処理完了時刻に差が生じる。ただし、「準備工程」は処理後に放置しても料理の品質に影響しないためあらかじめ処理することができ、処理開始時刻を遅らせる必要があるのは、「加熱開始工程」である。処理開始時刻を遅らせるために待機している時間をその注文料理の待機時間という。時刻 t_0 に同時提供の関係にある料

Algorithm 1: 同時作業調理工程の選択

Input : 時刻 t に選択された注文料理の次工程 p
Output: 同時作業する注文料理集合 C

$k \leftarrow K(p);$
 $A \leftarrow C(p, t);$
 $C \leftarrow \emptyset;$

while $k > 0$ and $A \neq \emptyset$ **do**
 $j' \leftarrow A$ の中で優先度最大の注文料理;
 if $k \geq |A \cap V(j')|$ **then**
 $C \leftarrow C \cup (A \cap V(j'));$
 $A \leftarrow A \setminus V(j');$
 $k \leftarrow k - |A \cap V(j')|;$
 else
 if $K(p) < |A \cap V(j')|$ **then**
 $C' \leftarrow A \cap V(j')$ の中で優先度が大きい順に k 個の
 注文料理の集合;
 $C \leftarrow C \cup C';$
 $A \leftarrow A \setminus C';$
 $k \leftarrow 0 (= k - |C'|);$
 else /* 同時作業の選択をこれ以上は行わない */
 $A \leftarrow \emptyset;$
 end
 end
end
end

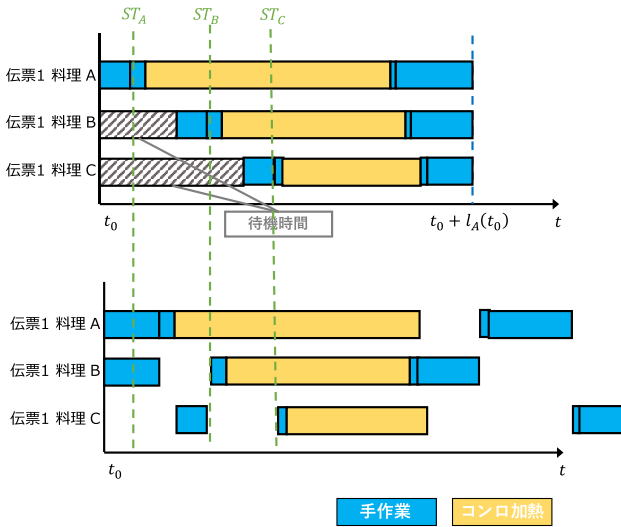


図 1 待機時間を設定したスケジュールの例

Fig. 1 Example of a schedule considering a waiting time.

理集合 V が注文されたとすると、注文料理 $j \in V$ の総処理時間は $l_j(t_0)$ であり、待機時間は $\max_{j' \in V} (l_{j'}(t_0) - l_j(t_0))$ となる。注文料理 j の「準備工程」の処理時間を l_j^1 としたとき、「加熱開始工程」の処理開始可能時刻 ST_j は

$$ST_j = t_0 + \max_{j' \in V} (l_{j'}(t_0) - l_j(t_0)) + l_j^1$$

で与えられる。ある時刻で調理者が処理する調理工程を選択するとき、優先度にかかわらず処理開始可能時刻 ST_j より前の「加熱開始工程」は選択しない。図 1 に例を示す。

同じ伝票 1 にある同時提供の注文料理 A, B, C を考える。つまり、 $V = \{A, B, C\}$ であるとする。図 1 の上段ガントチャートが示すように、3 料理の中で料理 A の総処理時間が最も長いため、料理 B と料理 C のそれぞれの処理時間と料理 A の処理時間の差分が料理 B と料理 C のそれぞれの待機時間となる。この待機時間を考慮したスケジュール結果が下段ガントチャートである。なお、この例では、料理 A と料理 B はすべての手作業工程が同時作業で行うことができるのに対して、料理 C は、料理 A, B と同時作業できる工程が存在しないと仮定している。また、加熱工程は加熱機器が複数あり並行して処理できるとしている。このスケジュールの結果では、3 料理の処理完了時刻の時間差が大きい。そのため、待機時間の設定以外にも同時提供するための工夫が必要であると考えられる。料理 B の「加熱終了工程」を料理 A の「加熱」が終了するまで待つことで、料理 A と B の加熱後の工程を同時作業することができるが、「待つ」という選択を加えると、料理 A の加熱後の他の工程や待つ時間の上限など考慮する条件が複雑になる [5]。そこで本研究では、「加熱開始工程」以外では、優先度で注文料理が選択されたらすぐに次工程の処理を開始するとする。そのため、「加熱開始工程」の処理開始可能時刻をさらに調整することを考える。

「加熱」の工程が終了する時刻を加熱終了時刻とよぶ。加熱時間が異なる複数の料理が同時提供の関係にある場合に、同時提供料理の加熱終了時刻を合わせることで同時提供の実現を目指す。これが、加熱終了時刻基準での処理開始時刻設定である。注文料理 j の「加熱開始工程」と「加熱」にかかる時間を l_j^{23} とする。同時提供の関係にある注文料理 V のなかで加熱時間 l_j^{23} が最も長い注文料理 $\tilde{j}$ 、すなわち、 $\tilde{j} = \arg \max_{j' \in V} l_{j'}^{23}$ の「加熱開始工程」が開始した時刻 $\tilde{t}$ に同時提供関係の注文料理の「加熱開始工程」の処理開始時刻を設定する。注文料理 $j \in V$ ($j \neq \tilde{j}$) の「加熱開始工程」の処理開始可能時刻を、

$$ST'_j = \begin{cases} \infty & (t < \tilde{t}) \\ \tilde{t} + l_j^{23} - l_{\tilde{j}}^{23} & (t \geq \tilde{t}) \end{cases}$$

で与える。待機時間による処理開始可能時刻 ST_j よりも ST'_j が大きいときには、 ST'_j が実際の処理開始可能時刻となる。文献 [5], [11] ではこのルールが用いられている。図 2 の下段ガントチャートは同時提供である料理 A, B, C に対する加熱終了時刻基準での「加熱開始工程」の処理開始可能時刻 ST'_j の設定とスケジュール結果である。料理 A と料理 B の加熱後のすべての手作業が同時作業できるため、加熱終了時刻を合わせることで、料理 A と料理 B の処理を一緒に完了させることができるが、料理 C と料理 A の加熱後の手作業が同時作業でないため、料理 C の完成が遅れている。

次に、総処理時間の長い注文料理の加熱が開始されてか

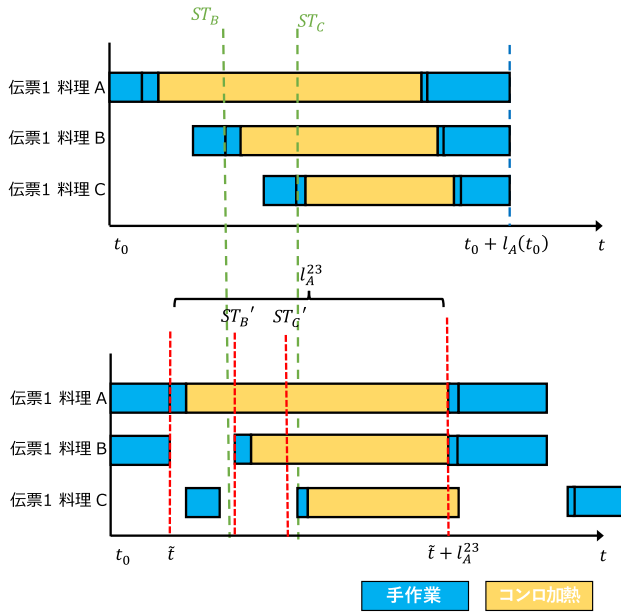


図 2 加熱終了時刻基準での処理開始時刻設定によるスケジュールの例

Fig. 2 Example of a schedule based on a finish time of a heating process.

ら、処理完了時刻を合わせるように「加熱開始工程」の処理開始時間を再設定することを考える。これが、**処理完了時刻基準**での処理開始時刻設定である。注文料理 j の「加熱開始工程」以降の 4 工程にかかる時間を l_j^{2345} とする。同時提供の関係にある注文料理 V のなかで l_j^{2345} が最も長い注文料理 $\hat{j}$ ，すなわち， $\hat{j} = \arg \max_{j' \in V} l_{j'}^{2345}$ の「加熱開始工程」が開始した時刻 $\hat{t}$ に同時提供関係の注文料理の「加熱開始工程」の処理開始時刻を設定する。注文料理 $j \in V$ ($j \neq \hat{j}$) の「加熱開始工程」の処理開始可能時刻を，

$$ST_j'' = \begin{cases} \infty & (t < \hat{t}) \\ \hat{t} + l_j^{2345} - l_{\hat{j}}^{2345} & (t \geq \hat{t}) \end{cases}$$

で与える。待機時間による処理開始可能時刻 ST_j よりも ST_j'' が大きいときには， ST_j'' が実際の処理開始可能時刻となる。図 3 の下段ガントチャート料理 A，B，C に対する処理完了時刻基準での「加熱開始工程」の処理開始可能時刻 ST_j'' の設定とスケジュール結果である。料理 A と料理 B の加熱後の手作業は同時作業できるが，作業開始時刻が異なるために同時作業ができなくなり，完了時刻がいずれの料理も異なる結果となっている。

しかし，注文料理が多い場合には，予定どおりに作業が開始できないことが多く，より良いスケジュールを達成するルールがいずれであるかは明らかではない。以上をふまえ，次章では，

ルール a 加熱終了時刻を基準とした処理開始可能時刻設定

ルール b 処理完了時刻を基準とした処理開始可能時刻設定

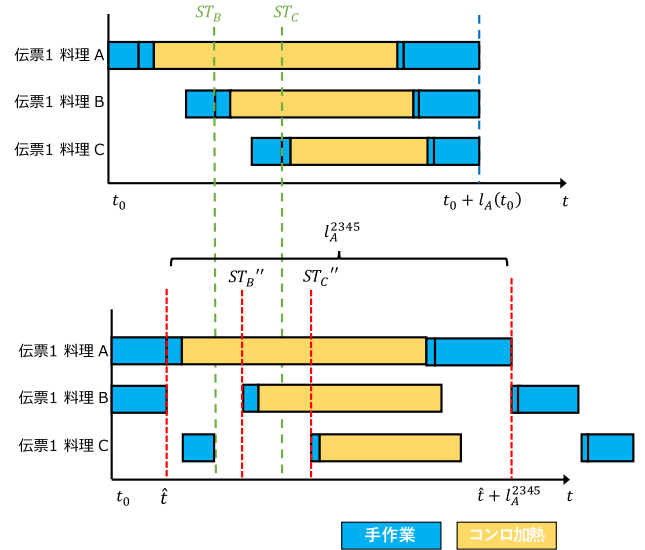


図 3 処理完了時刻基準での処理開始時刻設定によるスケジュールの例

Fig. 3 Example of a schedule based on a completion time.

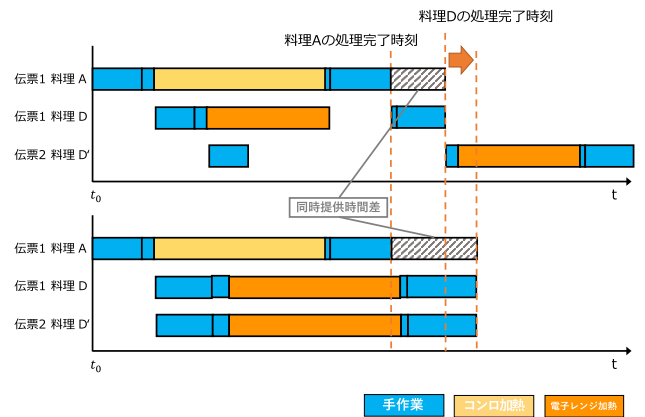


図 4 同時作業選択の制限の違いによるスケジュールの例

Fig. 4 Example of different schedules by a restriction of choosing processes executed simultaneously.

ルール c 待機時間のみによる処理開始可能時刻設定の比較を行う。

3.2.2 同時作業選択対象の制限

3.1 節で述べた同時作業調理工程の選択において，文献 [5], [11] では，注文された順序で料理が提供されるように，優先度最大で選ばれた注文料理 j に対して，「準備工程」に対する同時作業を選択する場合には，注文料理 j よりも早い時刻に注文された料理のみを対象としている。しかし，電子レンジ加熱のように一度処理が開始されると，その処理が終了するまで次の処理を開始できない場合には，なるべく同時作業を増やしたほうが効率が良くなると考えられる。図 4 は同時作業選択の制限の違いによるスケジュールの例である。伝票 1，2 の順に注文を受けたとし，注文料理 D と D' は同じ料理とする。料理 D の「準備工程」を行うときに，後から注文された料理 D' を同時に行わないのが上段のガントチャートであり，同時作業を

行うのが下段である。この例では同時作業を許すことで料理 D' の処理完了時刻を早めることができていたが一方で、電子レンジ加熱を同時作業で行うことで処理時間が長くなり、料理 D の処理完了時刻が遅れ、同時提供に影響している。このように、同時作業を行う対象を広げることで、処理待ちの注文料理を減らし、提供制限時間を守ることにつながることが期待される一方で、同時提供に影響を及ぼす可能性がある。

そこで、時刻 t に選択された注文料理 j の次工程 p が「準備工程」のときには、同時作業可能な工程を次工程に持つ注文料理の集合 $C(p, t)$ を与える際に、以下の制限を考える。

制限 i 注文料理 j よりも前に注文された料理のみを対象とする

制限 ii コンロ加熱を行う料理は注文料理 j よりも前に注文された料理のみを対象とし、電子レンジ加熱を行う料理は注文料理 j よりも後に注文された伝票 q (> 0) 組の料理までを対象とする

制限 iii 注文料理 j よりも後に注文された伝票 q (> 0) 組の料理までを対象とする

なお、文献 [5], [11] と同様「準備工程」以外は注文時刻による制限は設けない。

4. 評価実験

3.2 節で述べた各ルールがスケジュール結果に与える影響を確認するために、擬似データを用いて評価実験を行う。

4.1 準備

3.2 節で述べたルールを検証するための料理の種類はコンロ加熱を行う 4 種類（コンロ_A1, A2, B, C）と電子レンジ加熱を行う 1 種類（レンジ_A）とした。それぞれの料理の調理工程の処理時間は図 5 の長さ比に従う。同じ料理であればコンロ加熱以外は同時作業ができるが、異なる料理間の手作業工程は、斜線で塗られた調理工程の同じ番号どうしは同時作業できるとし、同時作業を行ったときの処理時間は、グレーのラインまでの処理時間をもとの処理時間に追加して与える。コンロ加熱を行う 4 種類の手作業工程は 3 料理まで同時作業可能であり、レンジ_A は 2 料理まで同時作業可能とした。すべての料理の提供制限時間は、

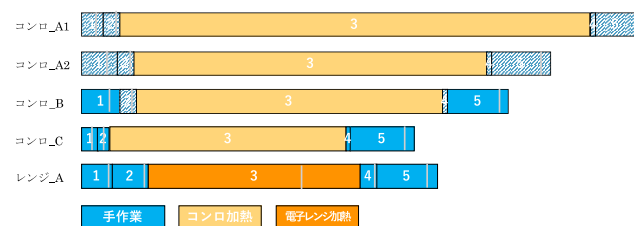


図 5 調理工程の処理時間

Fig. 5 Processing time.

コンロ_A1 の総処理時間の 3.2 倍で与えた。また、同時提供の判断のために提供制限時間の 0.05 倍を同時提供基準とし、同一伝票内で最も早く処理完了した時刻との差がこの同時提供基準内であれば同時提供されていると判断した。

次に、5 種類の料理からなる注文情報を作成する。伝票ごとの注文時間、注文数、注文料理は文献 [5], [11] に沿って作成した。注文時間、注文数は文献 [5], [11] のデータに類似させ、注文料理は評価実験の目的に沿った組合せを選択して、ランダムに決定した。また、注文数に応じた効果を確認するために、同一時間内の注文料理数を 109 品、156 品、212 品と設定した。

スケジュール結果は、提供時間と同時提供に関する 7 種類の指標により評価する。提供制限時間を L とし、注文料理 j の処理完了時刻を t_j^c 、注文時刻 t_j^0 に提供制限時間 L を足した時刻を d_j とする。注文料理の集合を O 、伝票の集合を V とする*1。同時提供基準の長さを D とする。

超過料理割合 提供制限時間内に完成できなかった料理数の全料理数に対する割合

$$\frac{|\{j \in O \mid t_j^c > d_j\}|}{|O|}$$

平均超過時間比率 提供制限時間を超えた調理時間の提供制限時間に対する比率の超過料理平均

$$\frac{\sum_{j \in O} \frac{\max\{t_j^c - d_j, 0\}}{L}}{|\{j \in O \mid t_j^c > d_j\}|}$$

平均提供時間比率 各料理の処理完了までの時間の提供制限時間に対する比率の平均

$$\frac{\sum_{j \in O} \frac{t_j^c - t_j^0}{L}}{|O|}$$

平均最終提供時間比率 各伝票のなかで最も遅い処理完了時刻の提供制限時間に対する比率の伝票平均

$$\frac{\sum_{V \in V} \frac{\max_{j \in V} \{t_j^c - t_j^0\}}{L}}{|V|}$$

同時提供不可割合 同時提供できなかった料理数の全料理数に対する割合

$$\frac{|\sum_{V \in V} |\{j \in V \mid \exists j' \in V, t_j^c - t_{j'}^c > D\}|}{|O|}$$

最大同時提供時間差比率 各伝票で最も早い処理完了時刻と最も遅い処理完了時刻の差の提供制限時間に対する比の最大値

$$\max_{V \in V} \frac{\max_{j, j' \in V} \{t_j^c - t_{j'}^c\}}{L}$$

*1 伝票 $V \in V$ は注文料理の部分集合からなる。つまり、 $V \subset O$ であり、各注文料理はいずれかの伝票にちょうど 1 度含まれるので、 V は O の分割である。

平均同時提供時間差比率 各伝票で最も早い処理完了時刻と最も遅い処理完了時刻の差の提供制限時間に対する比の伝票平均

$$\frac{\sum_{V \in \mathcal{V}} \frac{\max_{j, j' \in V} \{t_j^c - t_{j'}^c\}}{L}}{|\mathcal{V}|}$$

いずれの指標値も値が小さいほうが好ましい。超過料理割合、平均超過時間比率、平均提供時間比率、平均最終提供時間比率の4種類を提供時間に関する指標、同時提供不可割合、最大同時提供時間差比率、平均同時提供時間差比率の3種類を同時提供に関する指標とよぶ。

4.2 結果

3.2節で述べた3種類のルール、および、加熱機器の効率の設置を確認する3通りの実験結果を示す。

4.2.1 「加熱開始工程」の時間設定ルールの影響

「加熱開始工程」の時間設定ルールとして、3.2節で述べたルールa-cを比較する。加熱機器の違いを排除するためにコンロ加熱の料理（コンロ_A1, A2, B, C）のみを対象とし、コンロ加熱機器の台数は6台とした。同時提供の料理の特徴に応じてルールの組合せを変えて効果を確認する。同一伝票内の注文料理は同時提供を行うが、このときに伝票内で処理時間最長の料理とのペアのタイプにより、ルールa-cのいずれを適用するかは組合せから影響を確認する。料理ペアのタイプは以下の3通りである。

ペアタイプ1 手作業工程はすべて同時作業可能（同じ料理どうし、あるいは、コンロ_A1とコンロ_A2）。

ペアタイプ2 「加熱開始工程」、「加熱終了工程」のみ同時作業可能（コンロ_A1とコンロ_B、あるいは、コンロ_A2とコンロ_B）。

ペアタイプ3 同時作業可能な調理工程はない（コンロ_Cを含むペア）。

図6に、コンロ_A1, A2, Bのみからなる注文データに対する結果を示す。各々の注文料理数に対して10種類の注文データを作成してスケジュールを行った結果の平均で

ある。上段が109品、中段が156品、下段が212品の結果であり、同じ指標を縦に揃えて表示して、同じ指標においてのカラースケールで表示している。各々の表は、行がペアタイプ1に適用するルール、列がペアタイプ2に適用するルールである。提供時間に関する指標にはルールによる大きな差はないが、どちらのペアタイプにもルールcを適用した場合がわずかに良い結果となった。これは、「加熱開始工程」を待たずに待機時間のみ経過すれば開始できるためと思われる。同時提供に関する指標では、注文数や注文内容によって各ルールが結果にもたらす影響が異なっていた。しかし、注文料理数が多いときにはどちらのペアタイプに対してもルールcよりもルールaやbを用いたほうが同時提供ができていたと見なせ、「加熱開始工程」の処理開始時刻をコントロールする効果が検証できた。同様に図7に、コンロ_A1, A2, Cのみからなる注文データに対する結果を示す。この場合にも、同様に、提供時間に関する指標ではルールcの適用がわずかに優れた結果であるが、同時提供に関する指標ではルールa, bの組合せのほうがルールcを適用するよりも良い結果となることが多かった。平均超過時間比率に関しては、他の指標と異なり、注文料理数が少ないほうが値が悪くなっている。これは数個の注文料理の超過時間が大きい、注文料理数が増えることで超過料理数が増加して、平均すると影響が少なくなっているからである。

コンロ_A1, A2, B, Cを対象とすると、ペアタイプ3通りに対して組合せは $3^3 = 27$ 通りある。この場合にも提供時間に関する指標ではルールによる違いはほとんどなかった。図8に同時提供に関する指標の結果を示す。同時提供不可割合、平均同時提供時間差比率に関しては、ルールa, bのみを用いたほうがルールcよりも良い結果が得られた。ただし、ペアタイプ1に対してはルールaの結果は良くない。

以上のように「加熱開始工程」の処理開始時間を設定することで同時提供に良い影響を与えることが分かった。

	超過料理割合	平均超過時間比率	平均提供時間比率	平均最終提供時間比率	同時提供不可割合	最大同時提供時間差比率	平均同時提供時間差比率
109品	タイプ2						
タイプ1	a	0.00 0.00 0.00	a 0.00 0.00 0.00	a 0.37 0.36 0.36	a 0.39 0.39 0.39	a 0.05 0.04 0.07	a 0.09 0.09 0.10
	b	0.00 0.00 0.00	b 0.00 0.00 0.00	b 0.36 0.36 0.36	b 0.39 0.39 0.38	b 0.04 0.04 0.06	b 0.09 0.09 0.10
	c	0.00 0.00 0.00	c 0.00 0.00 0.00	c 0.36 0.36 0.36	c 0.38 0.38 0.38	c 0.09 0.09 0.09	c 0.10 0.10 0.10
156品							
タイプ1	a	0.01 0.01 0.01	a 0.02 0.02 0.02	a 0.52 0.52 0.52	a 0.55 0.55 0.55	a 0.19 0.19 0.19	a 0.15 0.13 0.13
	b	0.01 0.01 0.01	b 0.03 0.03 0.02	b 0.52 0.52 0.52	b 0.56 0.55 0.55	b 0.19 0.19 0.18	b 0.14 0.13 0.13
	c	0.01 0.01 0.01	c 0.03 0.03 0.02	c 0.52 0.51 0.51	c 0.55 0.55 0.55	c 0.25 0.22 0.20	c 0.16 0.16 0.15
212品							
タイプ1	a	0.56 0.56 0.56	a 0.62 0.61 0.61	a 1.18 1.18 1.18	a 1.33 1.32 1.32	a 0.20 0.19 0.20	a 0.21 0.20 0.19
	b	0.56 0.56 0.56	b 0.62 0.61 0.60	b 1.18 1.18 1.17	b 1.33 1.32 1.32	b 0.19 0.19 0.19	b 0.21 0.20 0.19
	c	0.56 0.56 0.56	c 0.60 0.60 0.59	c 1.17 1.17 1.17	c 1.32 1.31 1.31	c 0.22 0.20 0.20	c 0.23 0.23 0.20

図6 ペアタイプ1, 2に対するルールの違いによる結果

Fig. 6 Result by the difference in rules for pair-types 1 and 2.

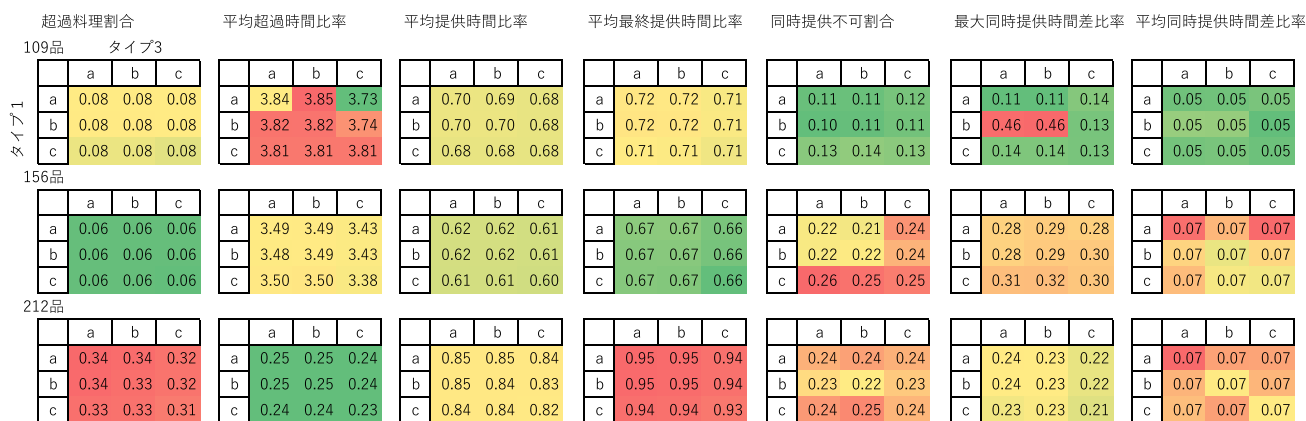


図 7 ペアタイプ 1, 3 に対するルールの違いによる結果

Fig. 7 Result by the difference in rules for pair-types 1 and 3.

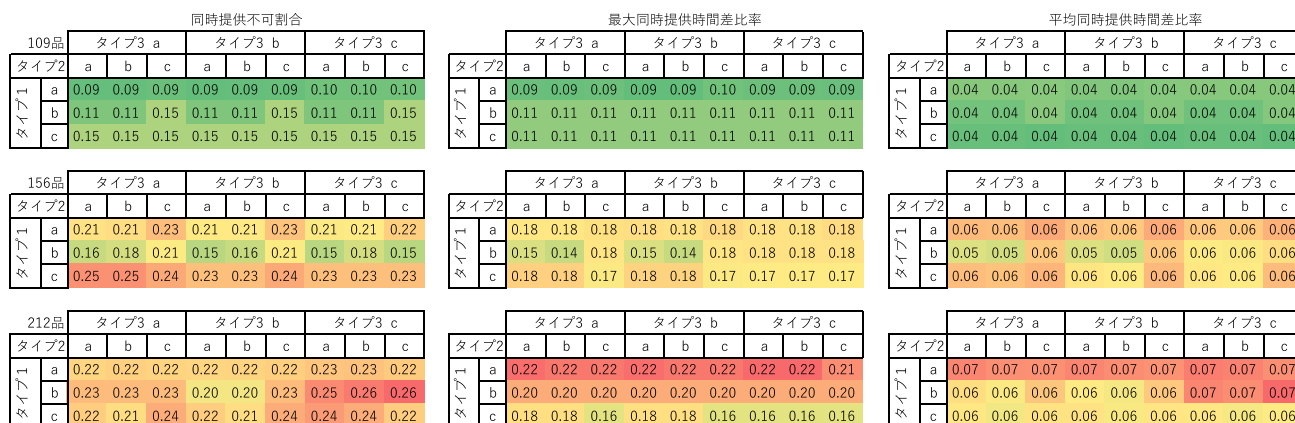


図 8 全ペアタイプ対象のときのルールの違いによる同時提供指標の結果

Fig. 8 Results of provided timing by the difference in rules for all pair-types.

ルール a, b の差は明確ではないが、すべてのペアタイプに対してルール b を用いたときが良い結果を導くことが多かった。

4.2.2 同時作業選択対象の制限ルールの影響

同時作業選択対象の制限ルールとして、3.2 節で述べた制限 i-iii を比較する。制限 ii, iii では $q = 5$ とした。さらに電子レンジ加熱を処理する機器が増えたときの影響も調べる。加熱機器の違いを明らかにするために、対象とする料理はコンロ_A1 とレンジ_A のみとする。コンロ加熱機器の台数は 6 台で固定し、電子レンジ加熱機器の台数を 1 から 4 台で変化させた。実験の設定は電子レンジ加熱機器台数と制限ルール番号で表す。たとえば、「2-i」は電子レンジ加熱機器 2 台で同時作業選択制限 i を適用することを表す。

実験結果を注文料理数ごとに図 9, 図 10, 図 11 に示す。それぞれ、10 種類の注文データを作成してスケジュールを行った結果の平均である。平均提供時間比率は平均最終提供時間比率のグラフに重ねて表示してあり、色の薄いグラフが平均最終提供時間比率を示す。同様に、平均同時提供時間差比率も最大同時提供時間差比率のグラフに重ねて表示している。超過料理割合と平均超過時間比率以外は

注文料理数によらず同じ傾向が得られたが注文料理数の多い 212 のときの違いが顕著に現れた。超過料理数に関しては、109 品、154 品のときはほとんどのケースで 0 であったため、特徴が現れなかった。超過料理割合以外の指標では、電子レンジ加熱機器台数の増加にともない指標値が小さくなっているが、特に 1 台から 2 台に増えたときに大きく改善している。制限ルールに関しては 109 品のときにはほとんど違いが生じなかったが、注文料理数が増えると、同時提供に関する指標では制限 i が比較的良好な結果となった。これは、制限 ii や iii で同時作業の候補を増やすと、電子レンジ加熱で同時作業が行われ、予定よりも加熱時間が長くなり、その結果、同時提供できずにその時間差も大きくなるためといえる。一方で、提供時間に関する指標では、156 品と 212 品では傾向が異なるが、212 品では制限 iii が優れているといえた。これは、同時作業ができる候補を増やすことで、効率的に作業ができていく結果といえる。

212 品のときに電子レンジ加熱機器台数の増加にともない超過料理割合が増加している。これはコンロ加熱タイプの料理が超過したことが原因と考えられる。ある注文データでの超過料理割合の内訳を図 12 に示す。電子レンジ加熱機器台数が増加するとレンジ_A が超過料理となる割合

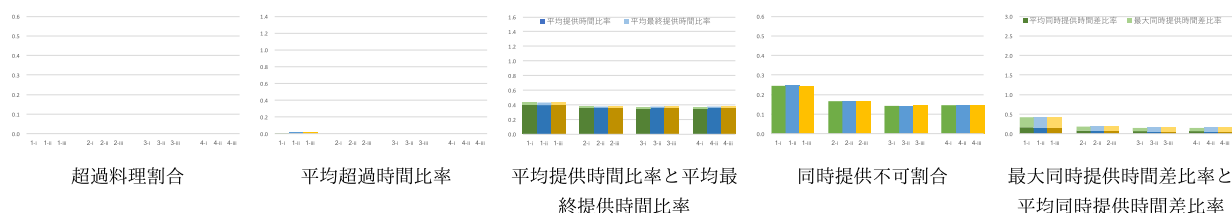


図 9 同時作業選択対象の制限ルールと電子レンジ加熱機器台数による 109 品のときの結果

Fig. 9 Result for 109 dishes by the difference in restrictions of choosing processes executed simultaneously and heating machine number.

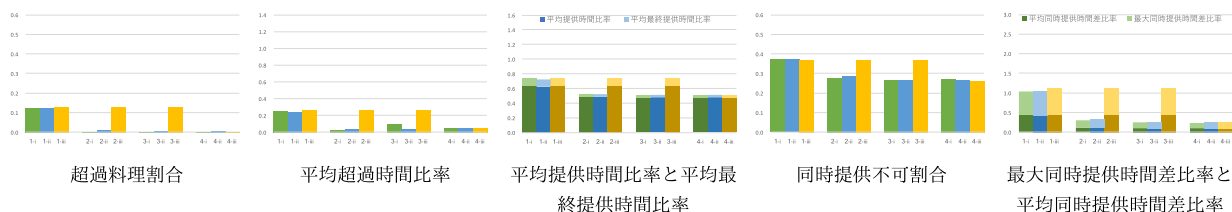


図 10 同時作業選択対象の制限ルールと電子レンジ加熱機器台数による 156 品のときの結果

Fig. 10 Result for 156 dishes by the difference in restrictions of choosing processes executed simultaneously and heating machine number.

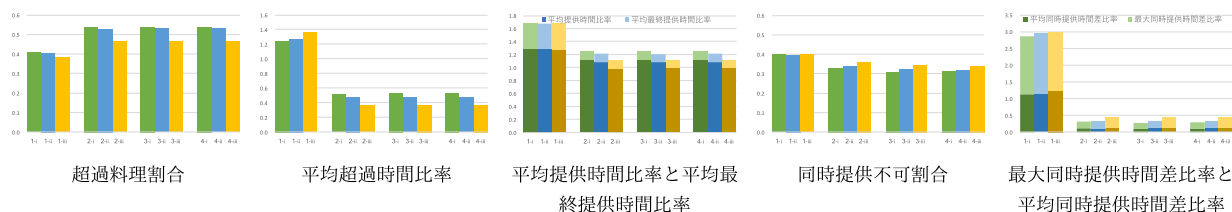


図 11 同時作業選択対象の制限ルールと電子レンジ加熱機器台数による 212 品のときの結果

Fig. 11 Result for 212 dishes by the difference in restrictions of choosing processes executed simultaneously and heating machine number.

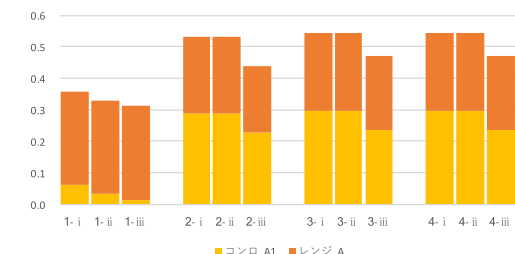


図 12 212 品のときの超過料理内訳

Fig. 12 Detailed types of tardiness dishes among 212 dishes.

は減少するが、それよりコンロ_A1 が超過料理となる割合が増加する。その原因として、電子レンジ加熱料理を処理する台数が増えることで、電子レンジ加熱料理の加熱開始や加熱終了のための手作業工程がより頻繁に行われるようになり、コンロ加熱の料理の遅延を起こしていることがあげられる。図 13 にその一例を示す。図 13 は、制限 i を用いる際の同じ注文に対する加熱機器が 1 台～4 台のときのスケジュール結果である。各行が 1 つの注文料理に対応しており、青が手作業、黄色がコンロ加熱、オレンジが電子レンジ加熱を表す。背景色はその料理の提供制限時間を表している。電子レンジ加熱機器が 1 台のときは、電子レンジ加熱を行う料理が大幅に提供制限時間を超えて調理さ

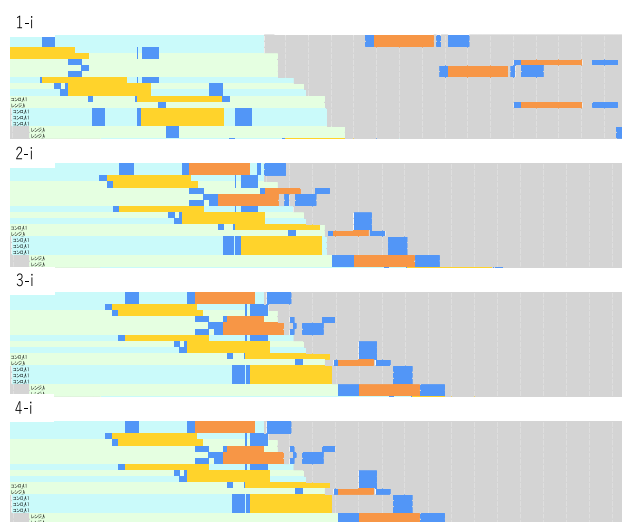


図 13 212 品のときの台数別スケジュール結果のガントチャートの一部

Fig. 13 Part of Gantt chart for the different number of heating machine when 212 dishes are scheduled.

れている。そして、「加熱」が同時作業によって行われることが多く、同時作業により単一の「加熱」よりも処理時間が長くなるため、電子レンジ加熱工程を開始または終了す

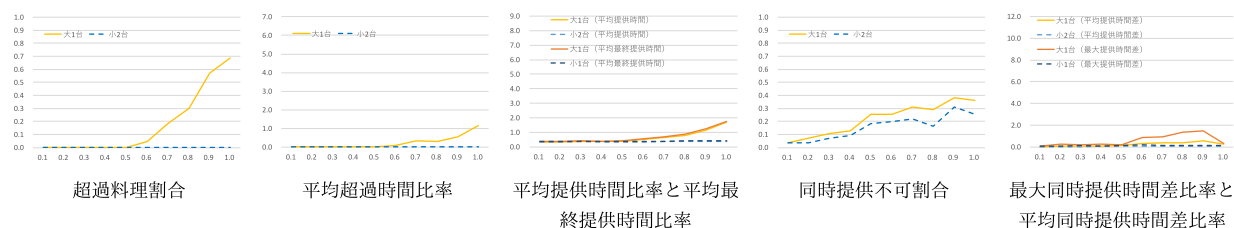


図 14 レンジ_A の割合による 109 品のときの加熱機器種類別各指標値の結果

Fig. 14 Result for 109 dishes by the difference in machine types with respect to the ratio of Range_A.

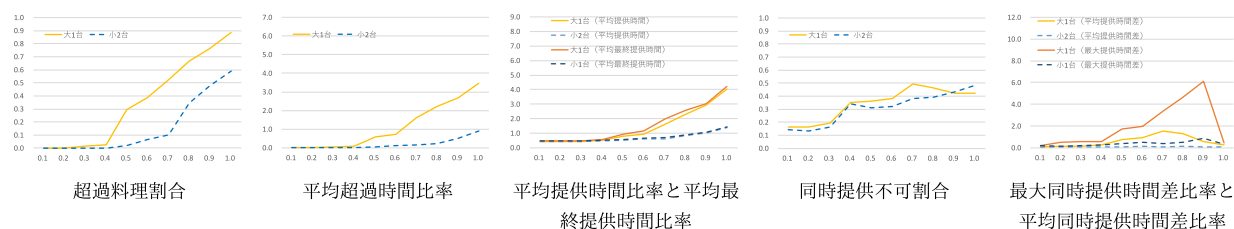


図 15 レンジ_A の割合による 156 品のときの加熱機器種類別各指標値の結果

Fig. 15 Result for 156 dishes by the difference in machine types with respect to the ratio of Range_A.

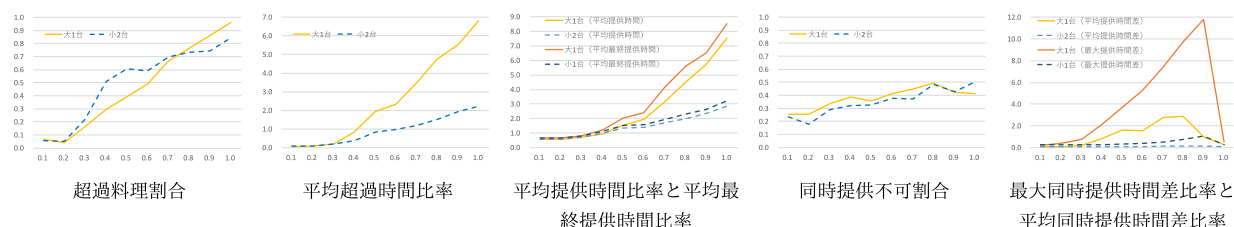


図 16 レンジ_A の割合による 212 品のときの加熱機器種類別各指標値の結果

Fig. 16 Result for 212 dishes by the difference in machine types with respect to the ratio of Range_A.

るための手作業の間隔が長い。よって、コンロ加熱を行う料理を予定どおりに料理することができる。対して、電子レンジ加熱機器が複数台あるとき、レンジ_A の注文が集中することによって電子レンジ加熱を行う料理の加熱開始や加熱終了のための手作業工程の処理も過密になる。その結果、コンロ加熱の料理の手作業工程が予定どおりに行われなくなり、コンロ_A1 の処理が先延ばしにされている。これが、電子レンジ加熱機器台数を増やしたときに超過料理割合が増加する理由である。しかし、図 13 から分かるように、超過時間に関してはコンロ加熱の料理の超過時間はあまり長くない、電子レンジ加熱の料理の超過時間も少なくなる。その結果、平均超過時間比率は短くなる。

以上より注文料理数が少ないときには、 $q = 5$ とした場合には、制限 i, ii, iii に大きな違いが見られないが、注文料理数が増加するときには、提供制限時間を重視するのであれば制限 iii を、同時提供を重視するのであれば制限 i がよいという結果が得られた。このことから、同時提供と提供制限時間の両方のバランスから、混雑具合により q の値を変更することも必要と考えられる。

4.2.3 加熱機器種類の影響

最後に、電子レンジ加熱を処理するとき、一度に 2 料理まで同時作業で加熱できる機器 1 台と、一度に 1 料理のみしか加熱できない機器を 2 台利用したときを比較する。前者を「大 1 台」、後者を「小 2 台」と表す。小 2 台の方が、大 1 台に比べて 2 つの料理の加熱時間を合わせる必要がないことから自由度が高いといえる。対象とする料理はコンロ_A1 とレンジ_A とし、2 種類の料理の比率を変化させた。

レンジ_A の料理の割合を 0.1 から 1.0 まで 0.1 刻みで増加したときの結果を注文料理数別に図 14, 図 15, 図 16 に示す。提供時間に関する指標では、大 1 台と小 2 台の差は注文料理数が増えると顕著になり、いずれもレンジ_A の料理の割合が 40% を超えると大幅に小 2 台が大 1 台の結果を改善した。同時提供に関する指標でも、小 2 台の方が提供時間差が大きくなることを抑えられた。同時提供不可割合もわずかではあるが、小 2 台が不可割合を少なく抑えていた。ただし、注文料理数が 156 品、212 品のときに、レンジ_A の割合が 90% を超えると、小 2 台の同時提供不可が増えた。これは、電子レンジ加熱料理が増えたときに大

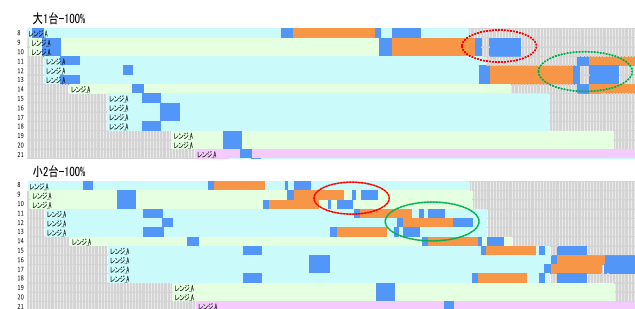


図 17 212 品すべてがレンジ_A であるときのスケジュール結果のチャート図の一部

Fig. 17 Part of Gantt chart of result for the difference in machine types when all dishes are Range_A.

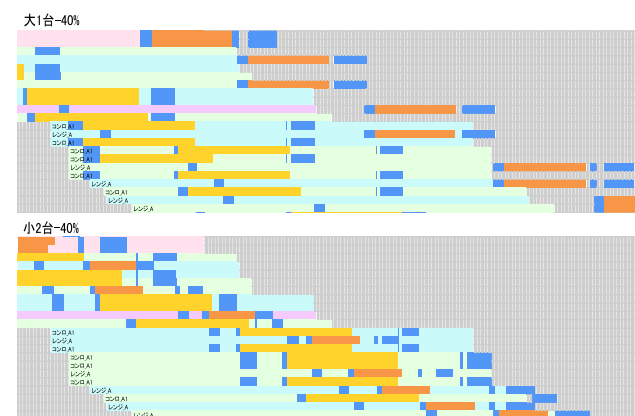


図 18 212 品でレンジ_A が 40% であるときのスケジュール結果のチャート図の一部

Fig. 18 Part of Gantt chart of result for the difference in machine types when the ratio of Range_A are 40%.

1 台だと同時作業により強制的に同時に加熱が開始されることが影響しているといえる。図 17 にスケジュールの一例を示す。大 2 台では同時作業で加熱時間が長くなり、提供制限時間が守れていないが、丸印の箇所のように同時に加熱を行うことで同時提供を達成していた。

また、図 16 の超過料理割合でレンジ_A の割合が 40% のときに、小 2 台が大 1 台よりも超過料理割合が上回っている。これは、電子レンジ加熱機器を増加させたときに超過料理割合が増加した理由と同じであり、コンロ_A1 の遅れが原因である。実際、大 1 台のときには超過料理の内訳が、コンロ_A1 が 7、レンジ_A が 56 であるのに対し、小 2 台になると、コンロ_A1 が 63、レンジ_A が 45 であった。しかし、コンロ_A1 の超過時間はわずかであるために、平均超過時間比率は小 2 台の方が小さく抑えられた。スケジュールの一例を図 18 に示す。このスケジュール結果からも小 2 台の方が大幅な超過時間が生じていないことが分かる。

以上より、電子レンジ加熱に関しても加熱の開始をそろえなくても並行して加熱できるようにすることで、提供時間、同時提供ともに大幅な改善ができることが分かった。

5. まとめ

本研究では、調理手順スケジューリングに対し、調理手順を決定するルールの影響を明らかにするために、簡素なモデルを作成し評価実験によりその影響を確認した。調理手順スケジューリングで重視されている同時提供を達成するように加熱開始時刻を設定した効果は認められたが、注文数や注文内容の影響が大きかった。さらに、同時作業の制約を厳しくすると、同時提供が達成されやすく、制約を緩めると、提供制限時間を超過する料理を削減できることが分かった。また、加熱機器を増加したり、自由度を増やすことで良いスケジュールが期待されるが、逆に他の注文料理の調理工程に影響を与え、超過料理数が増加する場合があることも確認された。

本研究では、同時作業選択ルールは基本ルールとして固定したが、同時作業選択においてもスケジュール結果に影響すると思われる、この評価実験も必要であり今後の課題である。

参考文献

- [1] Allahverdi, A.: The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs, *European Journal of Operational Research*, Vol.246, pp.345-378 (2015).
- [2] Allahverdi, A.: A survey of scheduling problems with no-wait in process, *European Journal of Operations Research*, Vol.255, pp.665-686 (2016).
- [3] Brucker, P.: *Scheduling Algorithms* (5th ed.), Springer (2007).
- [4] Janiak, A., Janiak, W.A., Krysiak, T. and Kwiatkowski, T.: A survey on scheduling problems with due windows, *European Journal of Operations Research*, Vol.242, pp.347-357 (2015).
- [5] Kimura, Y., Shimizu, K., Tsuboi, T., Hasegawa, D., Ishikawa, K., Kimura, K., Tanaka, M., Ozeki, K., Zhou, J. and Shigeno, M.: Improvements in cooking process scheduling for family restaurants, *Proc. International Symposium on Scheduling 2017*, pp.121-126 (2017).
- [6] Mitten, L.: Sequencing n jobs on two machines with arbitrary time lags, *Management Science*, Vol.5, pp.293-298 (1959).
- [7] Pinedo, M.L.: *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems* (5th ed.), Springer (2016).
- [8] Vinod, V. and Sridharan, R.: Scheduling a dynamic job shop production system with sequence-dependent setups: An experimental study, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol.24, pp.435-449 (2008).
- [9] Zhang, X.: Scheduling with Time Lags, *ERIM PhD Series in Research in Management*, Vol.206, Erasmus University Rotterdam (2010).
- [10] 上ヶ原誠, 浅野孝夫: オンラインスケジューリングアルゴリズムの実験的性能評価, 情報処理学会研究報告アルゴリズム (AL), 2002-AL-088, pp.17-24 (2003).
- [11] 中村 俊, 坪井哲也, 長谷川大輔, 石川浩司, 木村恵介, 田中未来, 繁野麻衣子: ファミリーレストランの調理作業手順のモデル構築, スケジューリング・シンポジウム 2015 講演論文集, pp.171-176 (2015).

- [12] 中村 俊, 坪井哲也, 長谷川大輔, 石川浩司, 木村恵介, 田中未来, 孫 傲雪, 繁野麻衣子: ファミリーレストランにおける料理提供タイミングの改善, 第4回サービス学会国内大会予稿集, pp.154-159 (2016).



周 潔瑩

南開大学外国語学部卒業。2018年筑波大学大学院システム情報工学研究科社会工学専攻修士課程修了。同年同大学院社会工学専攻長賞受賞。サービス工学, オンラインスケジューリングの研究に従事。



坪井 哲也

日本大学文理学部卒業。同大学大学院総合基礎科学科修了。株式会社サイゼリヤに勤務。情報システム部に所属し、外食業の情報化に従事。現在、調理手順の最適化にも取り組む。情報処理技術者試験委員。



長谷川 大輔

龍谷大学理工学部卒業。株式会社サイゼリヤに勤務。プロジェクト推進部に所属し、現在、店舗オペレーションの变革に従事。調理手順の最適化に取り組む。



石川 浩司

千葉商科大学経営学部卒業。株式会社サイゼリヤに勤務。商品開発部に所属し、現在、新メニューの開発に従事。調理手順の最適化に取り組む。



木村 恵介

慶應義塾大学商学部卒業。株式会社サイゼリヤに勤務。調査部に所属し、現在、店舗のデータ解析に従事。調理手順の最適化に取り組む。



田中 未来

筑波大学社会工学部卒業。同大学大学院システム情報工学研究科修士課程修了。株式会社サイゼリヤに勤務。調査部に所属し、現在、店舗のデータ解析に従事。調理手順の最適化に取り組む。



大関 和典

株式会社サイゼリヤに勤務。情報システム部に所属し、現在、情報系システムの運用・保守を担当。調理手順の最適化に取り組む。



繁野 麻衣子

東京理科大学大学院工学研究科修士課程修了。東京工業大学大学院理工学研究科情報科学専攻博士後期課程退学。博士(理学)。現在、筑波大学システム情報系教授。組合せ最適化、オペレーションズ・リサーチの研究に従事。