

# 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<sup>1</sup> 坪井 哲也<sup>2</sup> 長谷川 大輔<sup>2</sup> 石川 浩司<sup>2</sup> 木村 恵介<sup>2</sup> 田中 未来<sup>2</sup> 大関 和典<sup>2</sup>  
繁野 麻衣子<sup>1</sup>

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み合わせにより、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。

## Design and validation of rules for a cooking process scheduling model

### 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 [8]. そのため、注文された料理の組み合わせに従い、「料理提供の間隔を適切に空ける」「同じグループ客の料理は同時に完成させる」などの料理提供に関する条件を考慮しながら、調理者は複数料理の調理手順を組み立てなければならない。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。そして、随時注文を受け付けるためにオンラインスケジューリングの一種である。

実際の調理現場では、調理者の経験により料理提供の質が異なっている。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 [7]. 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。

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みなせる [2]. 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。例えば、処理工程間の時間間隔の制約 [5] は、料理の質を保つために一度調理を開始した料理を放置しないことに対応できる。工程間を連続で行わなければならないという制約 [1] は、調理手順においても、そのまま適用できる。さらに、料理の提供間隔を程よく空けるために、料理の完成時刻を調整することは、時間制約付きのスケジューリング問題 [3] で対応できる。

しかし、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研究はほとんどない。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。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高々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。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。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

<sup>1</sup> 筑波大学  
University of Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan  
<sup>2</sup> (株)サイゼリヤ  
Saizeriya Co., Ltd.

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。

## 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成り、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、加熱を複数回おこなったり、加熱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予めわかっているとする。

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、異なる種類の料理に対しては調理工程によっては同時作業可能なものもある。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、一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ある加熱機器と、同時作業できるがその分加熱時間が延長される加熱機器である。前者はコンロによる加熱、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、電子レンジ加熱と呼ぶこととする。料理ごとにどちらの加熱機器を使用するかは予め決まっている。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を開始できるが、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、注文は伝票ごとにわ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

### 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を次に作業をおこなうジョブとして選択する。この優先度を定めるディスパッチングルールは様々あるが[6]、本研究では、[4]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、 $s_j(t)$ が小さい料理ほど大きい優先度を与える。つまり、 $s_j(t)$ 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挙げられる。時刻 $t$ において注文料理 $j$ が優先度最大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、 $|C(p, t)| \geq K(p)$ 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い。そのための、同時作業調理工程選択手続きをAlgorithm 1に示す。 $V(j)$ は注文料理 $j$ と同時提供の関係にある料理の集合を表す。

### 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、及び、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

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、

---

**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**

---

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予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。

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  $\tilde{j}$  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  $j \in V$  ( $j \neq \tilde{j}$ ) の「加熱開始工程」の処理開始可能時刻を、

$$ST_j' = \tilde{t} + l_j^{23} - l_j^{23}$$

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。[4], [7] ではこのルールが用いられている。

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  $\hat{j}$  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  $j \in V$  ( $j \neq \hat{j}$ ) の「加熱開始工程」の処理開始可能時刻を、

$$ST_j'' = \hat{t} + l_j^{2345} - l_j^{2345}$$

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。

以上の「加熱開始工程」の開始時間設定を  $ST_j'$ ,  $ST_j''$  のいずれを用いるのがよいかを検討するために、次節では、  
**ルール a** 加熱終了時刻基準での処理開始可能時刻設定  
**ルール b** 処理完了時刻基準での処理開始可能時刻設定  
**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、[4], [7] 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よくなると考えられる。そこで、次工程が「準備工程」のときには、同時作業を選択する場合に以下の制限を設けて比較する。

**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 5 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 5 組の料理までを対象とする

なお、[4], [7] と同様に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。

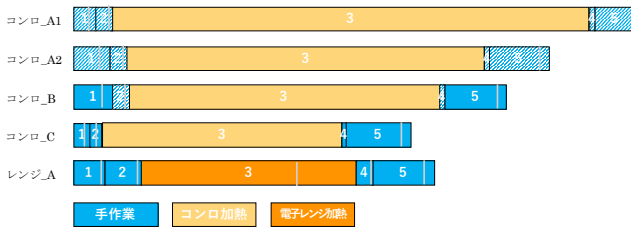


図 1 調理工程の処理時間  
 Fig. 1 Processing time

#### 4.1 準備

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 1 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同士は同時作業できるとし。同時作業をおこな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。コンロ加熱を行う料理の手作業工程は 3 料理まで同時作業可能であり、レンジ\_A の各調理工程は 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、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、これら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 [4], [7] に沿って作成した。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。

スケジュール結果を評価する指標は、7 種類ある。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。

**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

**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  $(t_j^c - d_j)/L$  の超過料理での平均

**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  $(t_j^c - t_j^0)/L$  の平均

**平均最終提供時間比率** 各伝票内で処理完了までの最も長い時間の提供制限時間に対する比率の伝票平均

**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

**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

**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

いずれの指標値も値が小さいほうが好ましい。初めの 4 種類を提供時間に関する指標、後ろの 3 種類を同時提供に関する指標とよぶ。

#### 4.2 結果

##### 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」の処理開始可能時間設定のルール 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、コンロ加熱機器は 6 台とした。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を個別に設定する。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。

**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。

**ペアタイプ 3** 同時作業可能な調理工程はない。

図 2 に同時提供に関する指標の結果を示す。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あり、同じ指標におけるカラースケールで表示している。各表には、それぞれのペアタイプに適用するルール a-c の組み合わせ 27 通りの結果が表示されている。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。一方で、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。この結果は、注文料理をペアタイプ 1, 2 のみ、ペアタイプ 1, 3 のみに限定した場合にも同様であった。以上のように、待機時間以外に「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わかった。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 i-iii を比較する。さらに電子レンジ加熱を処理する加熱機器数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。

212 品のときの実験結果を図 3 に示す。横軸は機器数と制限の組を表し、例えば、「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。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、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。109, 156 品のときも、超過料理割合と平均超過時間比率以外は 212 品のときと同じ傾向が得られたが注文料理数の多い 212 のときが違いが顕

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																											
		タイプ3 a			タイプ3 b			タイプ3 c					タイプ3 a			タイプ3 b			タイプ3 c					タイプ3 a			タイプ3 b			タイプ3 c																	
タイプ2	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ2	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ2	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c												
109品	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ2	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ2	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c									
	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ1	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ1	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c						
	タイプ1	b	c	a	b	c	a	b	c	a	タイプ1	タイプ2	b	c	a	b	c	a	b	c	a	タイプ1	タイプ2	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a									
	タイプ1	c	a	b	c	a	b	c	a	b	タイプ1	タイプ2	c	a	b	c	a	b	c	a	b	タイプ1	タイプ2	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b									
	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ1	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ1	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c			
	タイプ1	b	c	a	b	c	a	b	c	a	タイプ1	タイプ2	b	c	a	b	c	a	b	c	a	タイプ1	タイプ2	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a						
	タイプ1	c	a	b	c	a	b	c	a	b	タイプ1	タイプ2	c	a	b	c	a	b	c	a	b	タイプ1	タイプ2	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b						
	タイプ1	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ1	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	タイプ1	タイプ2	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	タイプ1	b	c	a	b	c	a	b	c	a	タイプ1	タイプ2	b	c	a	b	c	a	b	c	a	タイプ1	タイプ2	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a			
	タイプ1	c	a	b	c	a	b	c	a	b	タイプ1	タイプ2	c	a	b	c	a	b	c	a	b	タイプ1	タイプ2	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b						

図 2 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. 2 Results of provided timing by the difference in rules for all pair-types

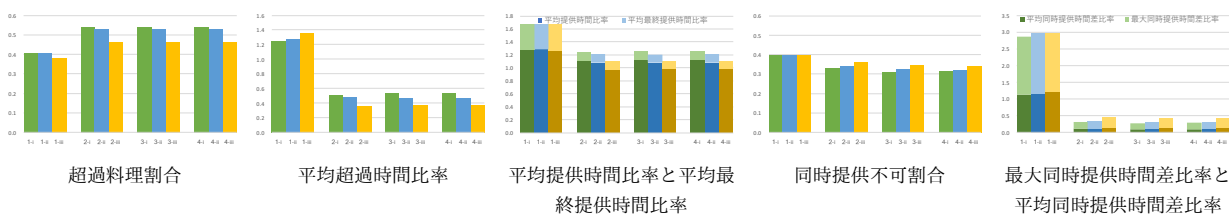


図 3 同時作業選択対象の制限ルールと電子レンジ加熱機器台数による 212 品のときの結果  
Fig. 3 Result for 212 dishes by the difference in restrictions of choosing processes executed simultaneously and heating machine number

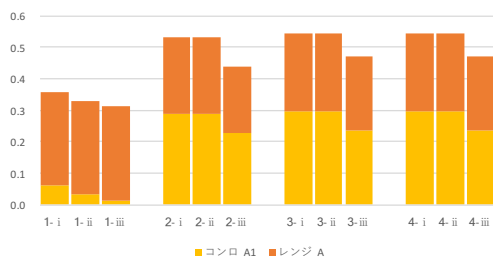


図 4 212 品のときの超過料理内訳  
Fig. 4 Detailed types of tardiness dishes among 212 dishes

著に現れた。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伴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。制限ルールについては、同時提供に関する指標では制限 i が比較的良好の結果となった。これは、制限 ii や iii で同時作業の候補を増やすと、電子レンジ加熱の同時作業での加熱時間が予定よりも長くなり、その結果、処理完了時間に差が生じているためと思われる。一方で、提供時間に関する指標では制限 iii が優れていると言えた。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た結果といえる。

超過料理割合は電子レンジ加熱機器台数の増加に伴い増加している。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。超過料理割合の内訳を図 4 に示

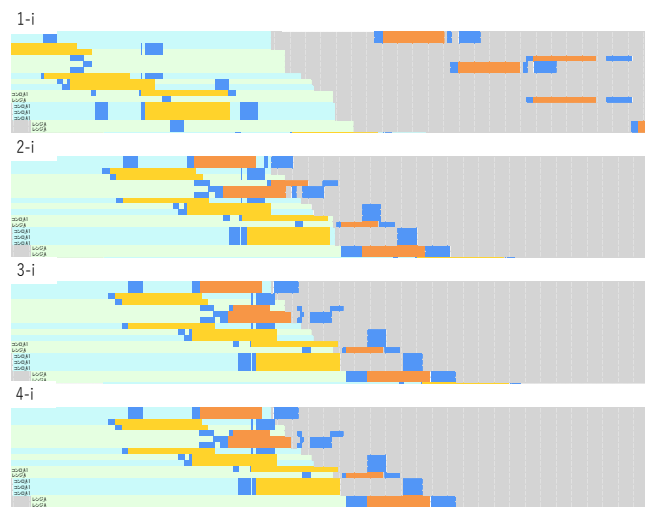


図 5 212 品のときの台数別スケジュール結果のガントチャートの一部  
Fig. 5 Part of Gantt chart for the different number of heating machine when 212 dishes are scheduled

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挙げられる。図 5 にその一例を示す。各行

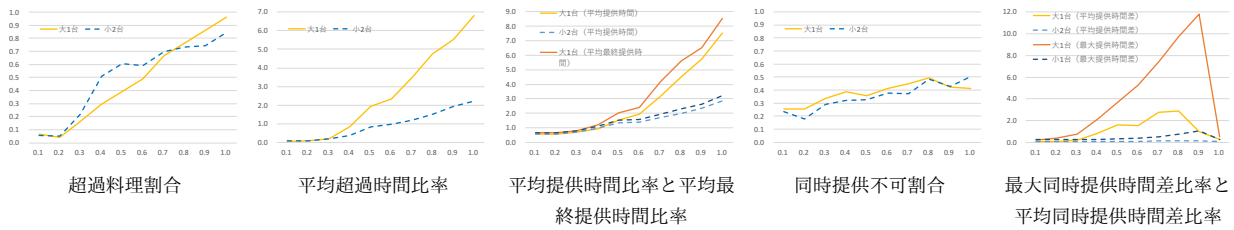


図 6 レンジ\_A の割合による 212 品のときの加熱機器種類別各指標値の結果

Fig. 6 Result for 212 dishes by the difference in machine types with respect to the ratio of Range\_A

が一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。図 5 からわかるように、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、電子レンジ加熱機器台数を増やすことで、スケジュールは改善され、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。

#### 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、1 度に 2 料理まで同時作業で加熱できる機器 1 台と、1 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 212 品に対する結果を図 6 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僅かではあるが、小 2 台が不可割合を少なく抑えていた。ただし、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 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。

また、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 の超過時間は僅かであるために、平均超過時間比率は小 2 台の方が小さく抑えられた。

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平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わかった。

## 5. まとめ

本研究では、調理手順スケジューリングに対し、簡素なモデルを作成し、調理手順を決定するルールの影響を確認した。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、明確に優位なルールはなかった。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わかった。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ることも確認された。

## 参考文献

- [1] Allahverdi, A.: A survey of scheduling problems with no-wait in process, *European Journal of Operations Research*, Vol. 255, pp. 665–686, (2016).
- [2] Brucker, P.: *Scheduling Algorithms* (5th ed.), Springer, (2007).
- [3] 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).
- [4] 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, *Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017*, pp. 121–126, (2017).
- [5] Mitten, L.: Sequencing  $n$  jobs on two machines with arbitrary time lags. *Management Science*, Vol. 5, pp.293–298, (1959).
- [6] Pinedo, M.L.: *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems* (5th ed.), Springer, (2016).
- [7] 中村, 坪井, 長谷川, 石川, 木村, 田中, 繁野: 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).
- [8] 中村, 坪井, 長谷川, 石川, 木村, 田中, 孫, 繁野: 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).