

# 集合住宅内装工事における作業並列化の効果分析

市川学 出口弘 (東京工業大学) 田澤周平 志手一哉 (株式会社 竹中工務店)

## Analysis of Multi Tasks Working Style in Interior Finish Work of Apartment Building by ABM

\*M. Ichikawa, H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology),  
S. Tazawa and K. Shide (Takenaka Corporation)

**Abstract**— In recent years, there is no significant difference among Japanese general contractors' building techniques. As a result, general contractors are becoming to focus on management skills of construction. As there are various employment types, works and relations among them, it is very difficult for general contractors to plan the best process planning of works. Once general contractors make a process planning of works, which they think is better, there is no way to evaluate it except constructing the building in the real world according to the planned one. In our research, we made a simulation model by agent-based approach to simulate how interior finish works proceeded in the apartment building construction following the process of works planned by the general contractor. And in this paper, we focus on the condition that "Only one worker can work in one room at a time", and compare results between the case with this condition and the case without it. By analyzing the simulated results, we will discuss the advantage of abolishing this condition.

**Key Words:** ABM, Social simulation, Work period, Multi task, Interior finish work

### 1 はじめに

近年、日本全国における高層マンションの竣工・計画戸数が増加すると見込まれている。全国の発売戸数は、2011年の86,582戸から2012年の93,861戸へと8.4%の増加があり、2009年より連続して増え続けている。これは、首都圏を中心としたマンション市況の回復により、新たな高層マンションの大規模開発や複合施設再開発プロジェクトなどが増加傾向にあることを背景としている。従って、集合住宅の着工数も増加傾向にあり、建物の高層化、大規模化は今後も続くと考えられる<sup>1)</sup>。

今日、高層マンションに代表される集合住宅の建設工事を受注する建設会社の建設技術には大差はなく、集合住宅工事における注力すべき点は、コスト管理やスケジューリング、作業員、作業進捗の管理などの工程管理にあると言われている<sup>2)</sup>。そもそも建設工事には、多数の作業員が動員されており、その雇用形態は多様であるために、工事現場での各種作業の平準化は難しい。こうした状況を改善するために、建設工事の工程計画にはさまざまな工程計画手法が導入されてきた。しかし、建物の高層化に伴い、従来の手法では満足する工程計画を作成することが出来なくなりつつあることが、指摘されている<sup>3)</sup>。従って、集合住宅を施行する建設会社にとって、集合住宅をいかに効率よく建設するかが課題となってきた。

集合住宅建設工事では、着工すると建物の骨組みを作る躯体工事から開始し、内装工事を行ったあとに完工となる。躯体工事は、作業員の職種に限りがあり、進捗状況が一望できるため、比較的管理がし易い。その一方で、内装工事は作業員の職種が多様で、躯体工事に比べて工程数も多く、各作業員の先行作業および後続作業の作業間の関係の複雑さから、多様な工程の進捗が存在し、その工程管理は困難を極める。また、2008年に行われた実現場における調査によると、内装工事における住戸稼働率が30%未満であることが明らかに

された<sup>4)</sup>。ここでの住戸稼働率とは、着手可能な住戸の中で、同時刻に作業が行われている住戸の割合を意味する。コスト管理と工程管理に注力する上で、建設工事における工期短縮への期待は高く、内装工事の工程計画には効率化の余地が残されていると言える。

このような中で、効率の良い工程計画を策定するために、インターフェイス・マトリクス (Interface Matrix:IFM) の概念を用いた演算で抽出した作業の属性や作業に伴う資源配分上の問題を把握、対処しながら多工区同期化の工程計画を作成する方法が提案されている<sup>5)</sup>。しかし、ここで得られる内容はあくまでも工程計画であって、実際の建設現場で日常的に発生するイレギュラーな事態や現場の作業員の自主的な行動 (作業住戸および作業内容の選定)、工事開始後の住戸の設備変更が考慮されておらず、実際に工事を進めてみないと工事の進捗がわからないのが問題である。

そこで、われわれは、これまでに、作成された工程計画をもとに、作業員が自主的な行動を取ることを想定した集合住宅の内装工事において、その工事の進捗状況が再現できるシミュレーションモデルを、社会シミュレーションにおけるエージェントベースのアプローチを用いて構築してきた<sup>6) 7) 8)</sup>。そして、構築したモデルのシミュレーション結果より、建設会社にとってより好ましい工程計画を検討することを可能にする1つの判断材料を提供してきた。本稿では、これまで構築したモデルにおいて、作業現場の1つの部屋で作業ができる作業員の人数を1名のみで制限していた条件を、作業の内容を考慮して干渉が生じない範囲で複数人による同時作業を認めた際に、どの程度、工事の進捗状況が改善されるかを分析する。そして、現実の集合住宅の内装工事現場において、1つの部屋で複数人による作業を進めることの有効性について触れる (これまでの工事現場においては、1つの部屋で複数人の作業員が同時に作業することは工程計画上では考慮されていなかった)。

## 2 関連研究

集合住宅内装工事では一般的に、フロア単位で工区を分解し工程計画を立てるタクト方式を用いることが多い。ここでの工区とは、ある時間的まとまりの中で作業を行う対象となる単位空間のことを意味する。このタクト方式により、各工区内で同一の作業内容を繰り返し行うことで、労務資源や設備資源の平準化が可能となる。この繰り返し型建設工事の特徴に着目し、TOC (Theory of constraints: 制約の理論) を用いてコスト最小化を目的とした工程計画を掲載する手法が提案されている<sup>3)</sup>。TOCとは、組織内に制約を見つけ、その制約のみを改善することによって組織の経営改善を計る理論である<sup>9)</sup>。また、GA (Genetic Algorithm: 遺伝的アルゴリズム) を用い、繰り返し型建設工事において、労務平準化を考慮に入れた労務コストの観点で最適な工程計画を作成する手法も提案されている<sup>10)</sup>。資材や機材の制約条件や、作業個別の制約条件を考慮した最適化シミュレーションシステムを開発し、現実社会でのシステムの利用を可能にした。しかし、これらの手法は、いずれも集合住宅建設工事における躯体工事を対象としているものであり、内装工事に着目したのではない。

既述の通り、集合住宅内装工事において建物の骨組みを作る躯体工事は、従事する作業員の職種が限られている上に、進捗作業が一望して確認が出来るため、工程管理を行うことが比較的易しい。一方で、内装工事は、躯体工事と比べ工程数が遥かに多く、先行作業および後続作業の作業間の関係の複雑さから、多様な工程の進捗が存在し、その工程管理は困難を極める。また、1つの住戸において作業ができる作業員が1人に制限される制約も伴う。実際の内装工事では、パネル工、電気工、内装工、大工など約50の職種の作業員が携わり、約200近くある全作業を、作業間の先行作業と後続作業の関係性を守って作業を行っている(例:配管工が配管工事をする前にユニット工がユニットバスを取り付けることは出来ない)。さらに、躯体工事は建物の側が作業の対象であり工事の進捗は1つに絞られるが、内装工事では各部屋が作業の対象となり、部屋ごとに異なる工事の進捗が存在する。そして、これらの内装工事の特徴をふまえ、既述した多工区同期化の工程計画の作成方法が提案されているのが現状である<sup>5)</sup>。しかし、実際の現場では、作業員がそれぞれの経験や勘を頼りに作業を行うべき部屋やその作業内容を選定することが見受けられ、建設会社が作成した工程計画通りに工事が進まない。

そのような中でわれわれは、作成された工程計画を作業員の行動を考慮して、工事の進捗が表現できるシミュレーションモデルを構築してきた。これまでに、内装工事に従事する作業員の数を、全職種で一律に増員しても工期が線形に短縮されないことや、作業効率の悪い行程を局所的に改善することで、新たに作業効率の悪い行程が発生することを報告している<sup>6)</sup>。また、内装工事における作業員の数を職種ごとに調整することで、工期が短縮し人件費が抑制される作業員の投入人数の組み合わせが存在することも報告している<sup>7)</sup>。さ

らに、これまでの成果をふまえ、特定の集合住宅内装工事における工程計画に限らず、任意の集合住宅内装工事における様々な工程計画での工事の進捗を表現可能なシミュレーションモデルを構築した<sup>8)</sup>。これらの報告を通して、社会シミュレーションの枠組みにおけるエージェントベースのアプローチを用いた集合住宅内装工事モデルが、建設会社の作成した工程計画を評価、修正する上で、一定の判断材料を提供できていることを示唆している。本稿では、これまでに構築したモデルを用いて、「1つの住戸において作業ができる作業員が1人に制限される」という制約を撤廃した際に、どの程度の工事進捗の改善が見込まれるかを、シミュレーションを通じて分析する。そして、実際の工事現場において「1つの住戸において複数人の作業員が同時作業することを認める」ことの有益性を示唆する。

## 3 モデル

本研究で利用するモデルは、株式会社 竹中工務店へのヒアリングなどを基に、集合住宅の工程計画における作業間の先行作業および後続作業の関係性、職種ごとに担当する作業内容、職種ごとの作業員の人数、内装工事の対象となる集合住宅の構造を自由に設定できる。ここでは、われわれが構築したモデルを説明する。なお、モデルは1ステップ1分の時間間隔を持つ。なお、モデルの構築には、社会シミュレーション言語 SOARS が利用されている<sup>11)</sup>。

### 3.1 モデルの定義

本研究で利用する集合住宅内装工事モデルには、作業員として作業内容や作業部屋の選定を行う意思決定主体のエージェントと、その作業員が行動をする場から構成される。ここでは、モデルを構成するエージェントと場について説明する。

#### 3.1.1 場の定義

作業員が行動をする場には、現場外、事務所および集合住宅の3つが存在する。このうち現場外と事務所については、それぞれを1つの場として定義している。集合住宅については、建物、階および住戸の要素から構成され、Fig. 1 に示すような階層構造を持つ。つまり、事務所をすべての集合住宅を管轄する頂点と捉えれば、事務所で扱う建物、各建物に存在する階、各階に存在する住戸の位置関係が定義される。なお、現場外、事務所、棟、階、住戸のそれぞれの要素は、場の空間的な大きさの概念は持っていない。これらの要素は、あくまでエージェントが存在することができる場所として捉える。

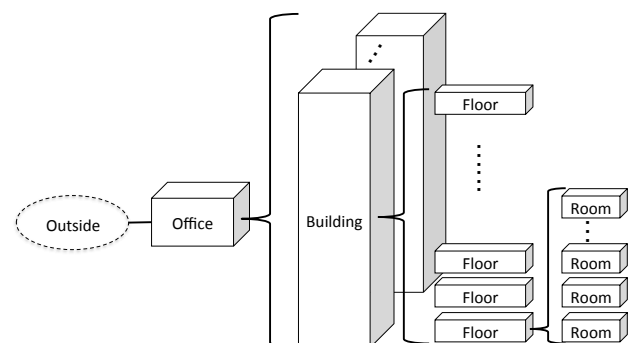


Fig. 1: Image of Model.

工事現場に該当する事務所、棟、階、住戸の各要素は、Table 1 に示す変数を持ち、内装工事の対象となる集合住宅の構造および特徴を表現している。

Table 1: Variables of Spaces

| Variable Name        | Description  |
|----------------------|--|
| Scheduled Tasks List | List of tasks which are scheduled.                           |
| Completed Tasks List | List of tasks which were done.                               |
| Upper Lv             | Upper space.   |
| Process Table        | Records of start time, end time and name of agent in charge. |
| Room Type            | Ex : 1LDK, 2LDK, 3LDK...                                     |

計画作業リストには、棟、階、住戸のそれぞれで工程計画上で予定されている作業名が要素としてすべて入る。各住戸においては、予定される作業が異なる場合もあり、各階においては、その階に存在する全ての住戸で予定されている作業名が要素として入る。棟の予定作業リスト、事務所の予定作業リストに入る要素の考え方も、階が持つ予定作業リストの考え方と同じである。また、住戸の完了作業リストには、その住戸で完了した作業名のみが作業の完了した順に要素として入る。階の完了作業リストは、その階に存在する全ての住戸で完了した作業名が完了した順に要素として入る。棟および事務所の完了作業リストも同様である。この計画作業リストおよび完了作業リストが一致した場合は、その場での作業はすべて完了したことを意味し、一致しない場合は、一致しない要素の作業が未完状態であることを意味する。その他、上位空間と下位空間リストは、建物の構造を表現するための変数で、上位空間には、場の1つ上位に位置する場が入る。つまり、棟の場合は、上位空間として事務所を持つということである。住戸の場合は、その住戸が存在すべき階を上位空間として持つ。また、下位空間リストは、場の1つ下に位置するすべての場が要素として入る。例えば、階の下位空間リストは、その階に存在するすべての住戸を要素に持つ。事務所には、進捗表が存在し、各棟、各階、各住戸のそれぞれで、すべての作業についての開始時刻、終了時刻および作業者名の記録を持つ。各住戸は、部屋の種類を識別するための変数を持つ。

### 3.1.2 エージェントの定義

集合住宅内装工事モデルにおけるエージェントは、作業員として作業内容や作業部屋の選定を行う。各作業員は、職種を持ち、その職種に応じた作業のみを行う。作業員が持つ変数を Table 2 に示す。

全ての作業員は、シミュレーション開始時には現場外に存在し、前日の17時に事務所の進捗表の情報を取り寄せ、自分が作業可能な作業のうち、先行作業がすべて完了している住戸があるかを確認する。つまり、自分が作業することのできる住戸が存在するかを確認し、1つも存在しない場合は、当日は事務所に出社しない。自分が作業することのできる住戸が存在する場合は、当日は事務所に出社する。事務所に出社した作業員は、改めて進捗表を確認し、その時点での作業可能な全ての住戸と各住戸で自分が行える作業の情

Table 2: Variables of Agent

| Variable Name               | Description  |
|-----------------------------|--|
| Job                         | Job type.  |
| Tasks List                  | List of tasks which agent can do.  |
| Tasks DB                    | Database of tasks which stores working time of each possible task, relation between possible tasks and finished tasks and so on. |
| Possible Working Rooms List | List of rooms where agent can work.  |

報を、作業現場情報として取得する。作業現場情報の取得後は、作業に行く住戸を選定し、到着した住戸において作業可能な作業を1つ行う（連続して作業は行わない）。住戸における作業が完了した時点で事務所へ戻り、進捗表に作業の報告（住戸名、作業名、作業担当者、開始時刻、終了時刻）を反映する。一方で、作業に行く住戸の選定後に、到着した住戸ですでに他の作業員が作業を行っていた場合は、その住戸にて並行して作業を行っていかを確認し、並行して作業が行える場合は、自分が可能な作業のうち並行して作業することが認められている作業を1つ行う。すでに作業員が存在する住戸において、並行作業が認められていない場合や、自分が作業可能な作業のうち、並行して作業することが認められている作業がない場合は、別の住戸を選定する。選定対象の住戸がなくなってしまう場合には、進捗表の確認のために事務所へ戻る。作業員の退社は、17時に行われる。その際に、すでに住戸にて作業中の作業員は、仕掛かり作業があることを記憶し、次の日に同住戸にて作業の続きを行う。また、退社時刻に作業を行っていなかった作業員は、事務所に戻り、最新の進捗表を確認した上で、次の日に出社すべきかの判断を行う。作業員の行動の流れを Fig. 2 に示す。

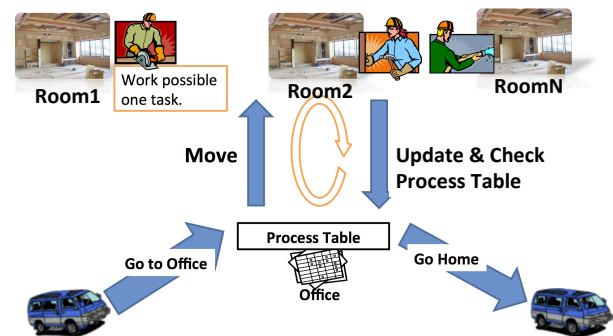


Fig. 2: Image of Agent Activity.

なお、作業員は、作業に行く住戸を1階に存在する住戸から順に選択する。また、作業員の移動は、現場と事務所、事務所と住戸を1ステップ（1分）で移動するものとし、事務所から住戸に移動する際の移動経路および移動距離に伴う移動時間の違いは考慮していない。

### 3.2 モデルの設定

本研究で利用するモデルは、任意の集合住宅内装工事における様々な工程計画での工事の進捗をシミュレー

ションすることが可能である。そのためには、想定する集合住宅内装工事に応じて、工事の対象となる集合住宅の情報（建物情報）、想定されている工程計画（作業情報）および作業員の情報（作業員情報）が必要である。建物情報は、事務所、棟、階、住戸が持つ変数のうち、計画作業リストと上位空間、タイプの値に関する情報から構成される。作業情報は、各作業の先行作業と住戸のタイプに応じた作業時間の情報から構成される。作業員情報は、職種名、人数、可能作業、作業住戸の選定方法、日当の情報から構成される。本稿のモデルでは、作業住戸の選定方法は、既述した通り作業に行く住戸を1階に存在する住戸から順に選択する設定とする。これら建物情報、作業情報、作業員情報の詳しい説明は、市川らの論文を参照されたい<sup>8)</sup>。本稿で設定したモデルの概要を Table 3 に示す。

Table 3: Main Simulation Settings

| Setting Name      | Value            |
|-------------------|------------------|
| Num. of Buildings | 1                |
| Num. of Floors    | 17               |
| Num. of Rooms     | 113              |
| Types of Room     | 1LDK, 2LDK, 3LDK |
| Num. of Tasks     | 206              |
| Num. of Job Types | 53               |
| Num. of Workers   | 163              |

## 4 シミュレーション

本稿では、「1つの住戸において作業ができる作業員が1人に制限される」という制約を撤廃した際に、どの程度の工事進捗の改善が見込まれるかを、シミュレーションを通じて分析する。株式会社 竹中工務店より情報の提供を受け、全206の作業のうち195の作業において、その作業の内容から「1つの住戸において複数人の作業員が同時作業することを認める」作業とした。また、残り11の作業については、その作業の内容から「1つの住戸において作業ができる作業員が1人に制限される」作業とした。従来通り「1つの住戸において作業ができる作業員が1人に制限される」作業を Table 4 に示す。

Table 4: Single Tasks

| Task Name              | Assigned Job Name     |
|------------------------|-----------------------|
| Frame Scrap            | Building Frame Const. |
| Permanent Scrap        | Building Frame Const. |
| Wall Construction      | Wall Const.           |
| Spray Urethane         | Insulation Const.     |
| Partition Construction | Carpenter             |
| Board Construction     | Board Const.          |
| Floor Cleaning         | Floor Const.          |
| Putty of Ceiling       | Wallpaper Const.      |
| Wallpaper Putting      | Wallpaper Const.      |
| Floor Construction     | Floor Const.          |
| Cleaning               | Cleaning Company      |

Table 4 に示した作業以外の195の作業について、ここでは、同時作業を認めなかったシナリオと同時作業を認めたシナリオのシミュレーション結果を比較する。

### 4.1 同時作業無しシナリオ

全ての206の作業について、同時作業を認めなかった場合のシミュレーション結果を、工期日数、住戸稼働率、総人件費、作業員稼働率の各指標で Table 5 に示す。工期日数とは、建物内で内装工事の最初の作業を開始して、最後の作業が終了するまでの日数を意味する。総人件費は、各作業員の日当を平成25年度公共工事設計労務単価を参考にして計算した<sup>12)</sup>。住戸稼働率は、各住戸で最初の作業が開始されてから最後の作業が終了するまでの間で、作業が行われていた時間の割合を表す。また、作業員稼働率は、全作業員の拘束された日数に対する実際に住戸にて作業を行っていた時間の割合を表す（ただし、工期1日=8時間）。なお、Table 5 に示した結果は10回のシミュレーションの平均値である。

Table 5: Result of No Multi Tasks Senario

| Indicator            | Result        |
|----------------------|---------------|
| Construction Days    | 179 Days      |
| Total Cost of Wages  | ¥310,669,020- |
| Rooms Working Rate   | 44.23%        |
| Workers Working Rage | 56.93%        |

全ての206の中で、同時作業を認めなかった場合は、179日の工期日数がかかり、約31億円の人件費がかかることがシミュレーション結果より示された。また、各住戸の稼働率は約44%、各作業員の稼働率は56%で、各作業員は拘束された時間のうち約半分は作業をしている結果が得られた。

この作業員稼働率について、全53職種のうち稼働率の良い5職種と悪い5職種を Table 6 に示す。

Table 6: Ranking of Working Rate in No Multi Tasks Senario

| Rank | Job Name                   | Working Rate |
|------|----------------------------|--------------|
| 1    | Roofing Const.             | 94.46%       |
| 2    | Building Frame Const.      | 93.46%       |
| 3    | Surveyor                   | 92.33%       |
| 4    | Fireproof Partition Const. | 91.73%       |
| 5    | Floor Const.               | 91.23%       |
| 49   | Kitchen Panel Const.       | 24.84%       |
| 50   | Broadcast Const.           | 13.13%       |
| 51   | Fireproof Const.           | 12.78%       |
| 52   | IT Const.                  | 12.49%       |
| 53   | Disposer Const.            | 11.73%       |

作業員稼働率が90%を超えているのは、6職種ありそのうち上位が防水工、躯体職、墨出し工、耐火間仕切工、フローリング工である。逆に作業員稼働率が30%を切っているのは、8職種ありそのうち特に稼働率が悪いのが、ディスポーザー工、情報設備工、防火設備工および放送設備工で、稼働率が10%台である。

### 4.2 同時作業有りシナリオ

全ての206の作業について、11の作業について同時作業を認めた場合のシミュレーション結果について、同様に工期日数、住戸稼働率、総人件費、作業員稼働率の各指標を Table 7 に示す。なお、Table 7 に示した結果は10回のシミュレーション結果の平均値である。

195の作業について、同時作業を認めた場合は、159.5日の工期日数がかかり、約27億円の人件費がかかるこ

Table 7: Result of Multi Tasks Senario

| Indicator            | Result         |
|----------------------|----------------|
| Construction Days    | 159.5 Days     |
| Total Cost of Wages  | ¥ 273,488,720- |
| Rooms Working Rate   | 49.49%         |
| Workers Working Rage | 63.41%         |

とがシミュレーション結果より示された。また、各住戸の稼働率は約 49 %，各作業員の稼働率は 63 %で、全住戸の半分は何かしらの作業が作業員によって行われていた結果が得られた。

同時作業有りシナリオについても同様に、作業員稼働率について、全 53 職種のうち稼働率の良い 5 職種と悪い 5 職種を Table 8 に示す。

Table 8: Ranking of Working Rate in Multi Tasks Senario

| Rank | Job Name              | Working Rate |
|------|-----------------------|--------------|
| 1    | Roofing Const.        | 94.04%       |
| 2    | ALC Const.            | 93.71%       |
| 3    | Building Frame Const. | 93.52%       |
| 4    | Surveyor              | 92.33%       |
| 4    | Equipment Sub Const.  | 92.33%       |
| 49   | Civil Const.          | 31.19%       |
| 50   | Broadcast Const.      | 19.21%       |
| 51   | Fireproof Const.      | 18.21%       |
| 52   | Disposer Const.       | 12.24%       |
| 53   | IT Const.             | 11.54%       |

作業員稼働率が 90%を超えているのは、上位 5 職種の防水工、ALC 工、躯体職、墨出し工、設備サブコンである。逆に作業員稼働率が 10%であったのは、情報設備工、ディスポーザー工、防火設備工、放送設備工で、放送設備工と土木工の間には、10 %の開きがある。

#### 4.3 比較分析

全 206 の作業について同時作業を認めなかった場合と、195 の作業について同時作業を認めた場合の作業員稼働率を比較し、作業稼働率が改善された上位 5 職種を Table 9 に示す。

Table 9: Improvement of Working Rate

| Rank | Job Name            | Working Rate |
|------|---------------------|--------------|
| 1    | SD Const.           | 23.80%       |
| 2    | Non-SD Const.       | 18.99%       |
| 3    | Intercom Const.     | 18.43%       |
| 4    | Electric Sub Const. | 15.45%       |
| 5    | Hacking Const.      | 13.33%       |

金属建具工 (SD)、金属工 (雑金物)、インターホン工、電気サブコンについては、15%以上の改善を見せており、特に金属建具工 (SD) 約 24%の改善 (51.68% 75.47%) と、非常に高い改善率である。なお、ここで上げた 5 職種は、いずれも同時作業有りシナリオにおいても同時作業が認められていない作業を担当していない。また、斫り工は 13.33%の改善 (27.98% 41.31%) と、拘束時間の約半分近くまで作業時間を確保できるように改善され、「1 つの住戸において複数人の作業員が同時作業することを認める」ことにより、特に作業効率が悪かった職種をある程度はその効率を良くする効果が期待できる 1 つの例になったと考える。

次に、同時作業有りシナリオにおいても同時作業が認められていない作業を担当する躯体職、耐火間仕切り工、断熱工、造作大工、ボード工、土木工、クロス工、フローリング工、クリーニング工について作業員稼働率を比較する。シミュレーション結果の比較を Table 10 に示す。

Table 10: 9Jobs Working Rate

| Job Name                   | No Multi | Multi  |
|----------------------------|----------|--------|
| Building Frame Const.      | 93.46%   | 93.52% |
| Fireproof Partition Const. | 91.73%   | 89.97% |
| Insulation Const.          | 61.89%   | 62.63% |
| Carpenter                  | 35.95%   | 42.34% |
| Board Const.               | 69.18%   | 71.44% |
| Civil Const.               | 27.58%   | 31.19% |
| Cross Const.               | 85.05%   | 83.38% |
| Floor Const.               | 91.23%   | 88.38% |
| Cleaning Comp.             | 80.57%   | 81.52% |

造作大工に限っては、約 7%の改善が見られるものの、その他の職種は同時作業を認めても認めなくてもほとんど影響が出ないことが判明した。造作大工については、同時作業が認められていない作業のほかにも比較的多くの作業を担当するため、ほかの 8 職種と比べて改善値が良かったものと推測される。

なお、全体の工期をより短くするために、同時作業有りシナリオにおいても同時作業が認められていない作業を担当する職種のうち、作業員稼働率が良くない、造作大工および土木工の作業員人数を増員することは、検討の余地があると考えられる。または、同時作業が認められていない作業のみを担当する作業員を雇うという案も考えられる。同時作業が認められていない作業が完了した住戸を工事期間中に増やすことで、全体の工期短縮に繋がる可能性があることをシミュレーションの結果比較から読み取った。

最後に、全体の工期と人件費を比較する。全体工期は、179 日から 159.5 日に短縮され、総人件費は 310,669,020 円から 273,488,720 円へと抑えられている。一日あたりの平均人件費も、1,735,581 円から 1,714,662 円と抑えられている。「1 つの住戸において複数人の作業員が同時作業することを認める」ことは、集合住宅を施行する建設会社にとっては、工期の短縮と人件費の削減の両方の指標を改善できる可能性のある策であることがわかった。

## 5 まとめと今後の展開

われわれは、集合住宅建設工事において、工程数が多く、先行作業および後続作業の作業間の関係の複雑で多様な工程の進捗が存在し、その工程管理は困難を極めるために、これまで分析が難しかった内装工事に着目し、社会シミュレーションにおけるエージェントベースのアプローチを利用して、集合住宅内装工事における作業の進捗状況が表現できるモデルを構築してきた。そして、構築したモデルを利用し、実際に施行が行われた集合住宅内装工事における工程計画 (作業間の関連性)、作業員数、建物構造の情報をを用いて、シミュレーションを行える環境を整えてきた。

本稿では、集合住宅内装工事において「1 つの住戸において作業ができる作業員が 1 人に制限される」という

制約に注目し、この制約を撤廃した際に、どの程度の工事進捗の改善が見込まれるかをシミュレーションを通じて分析した。現実の内装工事において、1つの住戸で同時に作業しても影響がない作業について、同時に複数の作業を認めたシナリオのシミュレーション結果と、従来通り、同時に複数の作業を認めないシナリオのシミュレーション結果を比較すると、同時に複数の作業を認めたシナリオでは、工期日数を約11%（179日/159.5日）改善できることを示した。また、工期短縮に伴い、全作業員に支払う賃金が、約12%（310,669,020円/273,488,720円）縮小できることも示した。さらに、同時に複数の作業を認めることによって、職種によっては、15%以上の稼働率の改善を見込める職種が存在することも判明した。これらの結果から、「1つの住戸において複数人の作業員が同時作業をすることを認める」ことは、集合住宅を施行する建設会社にとって、工期の短縮と人件費の削減の両方の指標を改善できる可能性があることを示唆した。

今後の展開としては、本稿にて得られたシミュレーション結果を、実際に集合住宅工事を施行する建設会社と検討することによって、より良い工程計画の作成へと活用することを考えている。また、「1つの住戸において複数人の作業員が同時作業をすることを認める」ことをしても、作業員稼働率の改善が期待したほど見込めず、その作業員稼働率そのものが、50%を下回っている職種が存在する。これらの職種の作業員の人数を調整することにより、さらに工期短縮と人件費の削減を可能にする作業員の投入人数を模索したい。

## 参考文献

- 1) 株式会社 不動産研究所：全国マンション市場動向、不動産研究所（2012）
- 2) 中田光和：勝負どころは先端にらず 世界の発注者が評価するのはトラブル時の工程管理能力、日経アーキテクチャ、No.934、30/31（2010）
- 3) 植田浩二、古阪秀三、藤沢克樹、室谷泰蔵、金多隆：繰り返し型建築工事における TOC を用いた工程計画に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.557、281/288（2002）
- 4) 志手一哉、湯浅洋一、蟹沢宏剛、山本翔太：集合住宅の内装仕上工事における工程パターンの分析、日本建築学会技術報告集、Vol. 15、No. 30、p.557-562（2009）
- 5) 志手一哉、安藤正雄、浦江真人、蟹沢宏剛、本田裕貴、染谷俊介、田澤周平：高層集合住宅の内装・設備工事における多工区同期化工程計画手法、日本建築学会計画系論文集、Vol.78、No. 683、193/201（2013）
- 6) 小松裕介、市川学、出口弘、志手一哉、染谷俊介：シミュレーションによる集合住宅内装工事計画の評価、Joint Agent Workshop and Symposium 2009 予稿集、627/634（2009）
- 7) 鳥飼大祐、市川学、出口弘、志手一哉、染谷俊介：ABMを用いた集合住宅内装工事における工期と賃金コストの分析、Joint Agent Workshop and Symposium 2011 予稿集（2011）
- 8) 市川学、出口弘、田澤周平、志手一哉：ABMを用いた集合住宅内装工事モデルの構築、Joint Agent Workshop and Symposium 2013 予稿集（2013）
- 9) 加藤治彦、竹ノ内隆、村上悟：TOC 戦略マネジメント、日本能率協会マネジメントセンター（1999）
- 10) 鎌田元信、古阪秀三、金多隆、勝山典一：繰り返し型工事における遺伝的アルゴリズムを用いた工程計画手法の考察と実プロジェクトへの適用、日本建築学会計画系論文集、No. 522、255/262（1999）
- 11) SOARS プロジェクト：<http://www.soars.jp/>

- 12) 国土交通省：平成 25 年度公共工事設計労務単価について、国土交通省（2012）