

2024年度 NTTデータ数理システム学生研究奨励賞 投稿論文

垂直輸送におけるバッチ化の有効性について ～現場の熟練作業によるエレベーター管理方法～

東京理科大学 創域理工学部 経営システム工学科

石垣研究室 3年 近藤聡汰

01 背景
Introduction

02 研究の位置づけと目的
Research Positioning

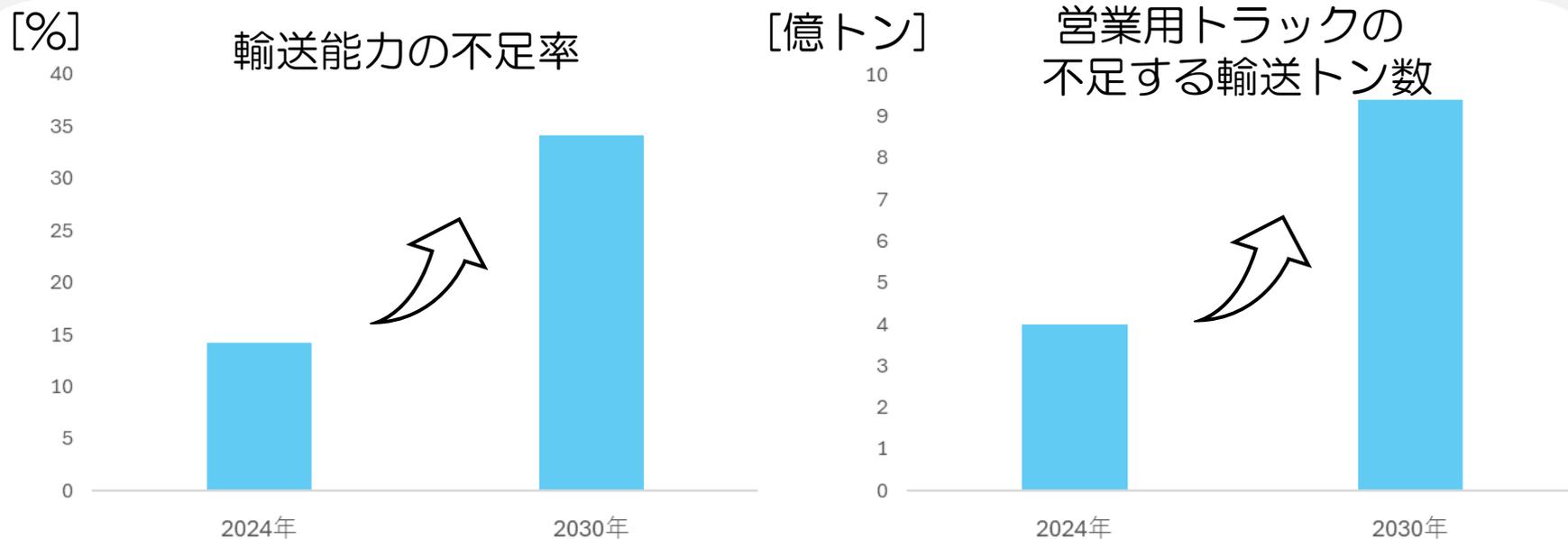
03 シミュレーションモデル
Simulation Model

04 シミュレーション結果
Simulation Result

05 結論
Conclusion

物流の2024年問題

2024年4月からトラックドライバーの時間外労働の960時間上限規制と改正改善基準告示が適用され、労働時間が短くなることで輸送能力が不足し、「モノが運べなくなる」可能性が懸念されている。



公益社団法人 全日本トラック協会[1]をもとに著者が作成

輸送能力の不足は今後も悪化する見込み...

物流の2030年問題

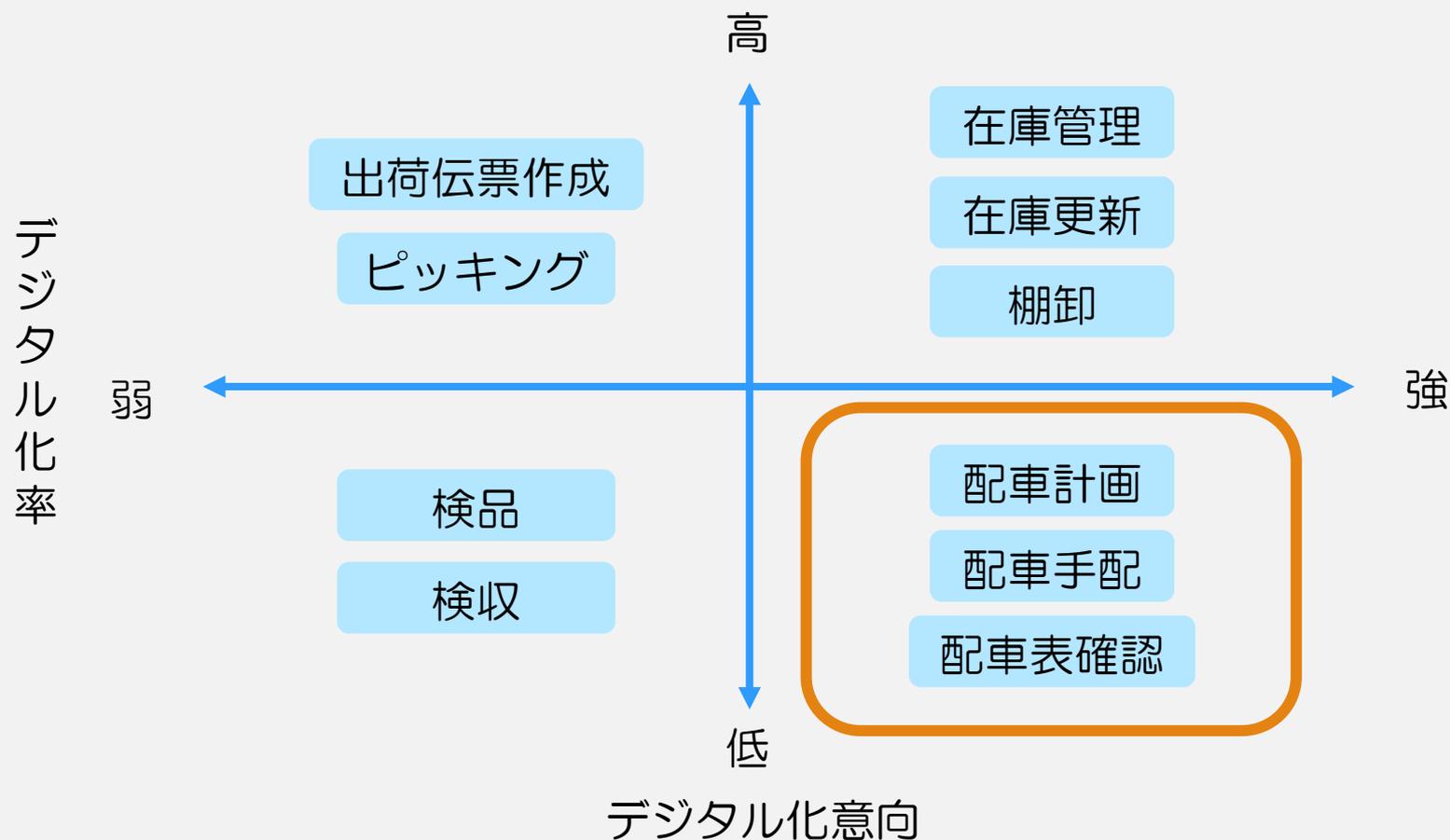
人口減少、働き方改革、荷物の多頻度小ロット化によって、物流ネットワークの維持が困難になってきているなかで、2024年4月からドライバーの労務管理が厳格化されると、**ドライバー不足**がより進み2030年には日本全国で約35%もの荷物が運べない^[2]。



2030年問題に向けて、自動化・省人化、標準化の推進や、デジタル技術を活用することによって、物流の効率化を行うことが急務となっている

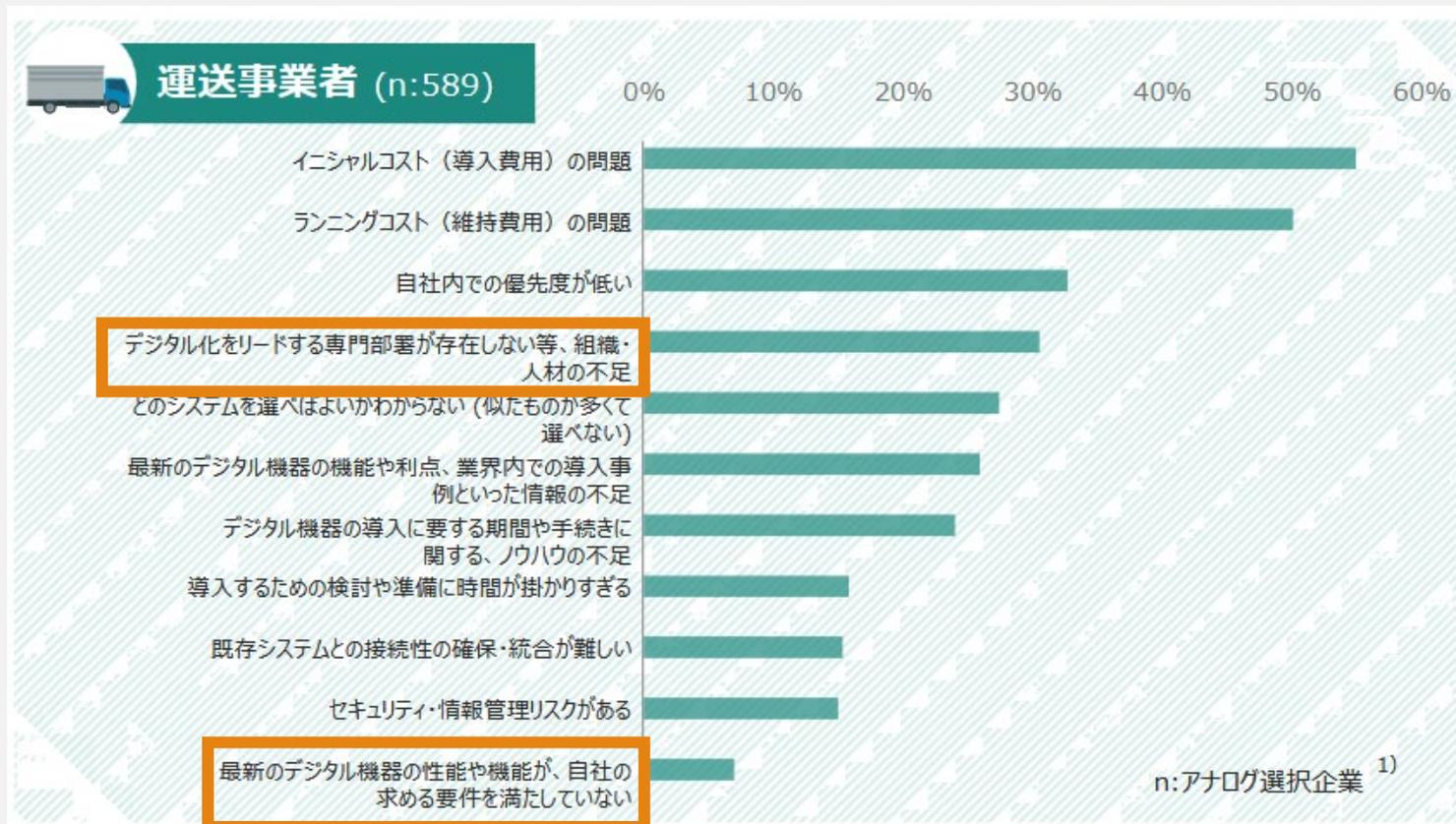


デジタル化を進める上で多くの課題が存在する



「物流業務のデジタル化の手引き」(国土交通省)[3]をもとに著者が作成

トラックの配車等のデジタル化意向は高いものの
デジタル化率が低い



「物流業務のデジタル化の手引き」（国土交通省）[3]を加工して使用（赤枠は著者が追加）

現場の熟練作業員による属人化とデジタル化のミスマッチが発生している可能性がある

現場での熟練作業者の柔軟性

6

現場をよく知る熟練作業者は、ちょっとした現場の複雑さを
勘コツによりいつの間にか解決(あるいはうやむやに)している場合がある。

この資材は先に運んで！
(後工程に必須の資材)

こっちの作業は後回し！
(納期を踏まえた変更)



一旦そこに置いていて！
(繁忙時の仮置き指示)

あれを確認した方がいいよ
(経験則のトラブル対応)

本研究のきっかけ：

熟練作業者の判断により、なぜか(!)現場が上手く回っている

上手く回る理由を可視化し、属人化から脱却しなければならない！

01 背景
Introduction

02 研究の位置づけと目的
Research Positioning

03 シミュレーションモデル
Simulation Model

04 シミュレーション結果
Simulation Result

05 結論
Conclusion

本研究にて注目する“人”

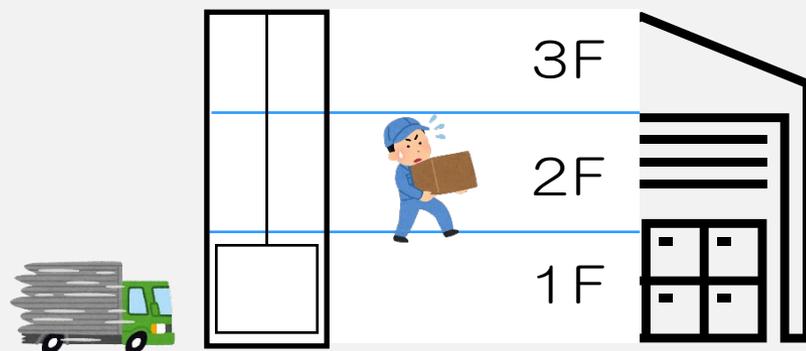
8

本研究は、物流倉庫や建設現場における垂直輸送のオペレーターに注目し、ノウハウの可視化を目指す。



垂直輸送オペレーターの役割：

横輸送によってドライバーが配達してきたものを、各階に運搬する際のエレベーター操作を担当する



効率的にエレベーターを管理することによって、荷物の待ち時間やドライバーの待機時間だけでなく、共同利用におけるエレベータ稼働率の向上や省エネ効果などが期待できる

実際の垂直輸送オペレーター

9

KKD（勘・経験・度胸）によるオペレーションが行われている。

垂直輸送の指示を適切に出せなければ...

- ✓ ドライバーに対する長時間の待ち
- ✓ 階層ごとの作業量のムラ



- ✓ 「次のエレベータまで待っててね」
（同一階行きの貨物を**バッチ化**）
- ✓ 「10Fだけども一旦2Fに置いておこう」
（ドライバーの待ちを踏まえた**仮置き**）



エレベータによる垂直輸送の研究は、省エネルギー管理や群管理に注目。

Thebuwena, A.C.H.J. et al.(2024)^[4]:

エレベータの省エネルギー運用

- ✓ ブレーキや加速度などのエネルギー消費に注目
- ✓ エレベータの台数、設計、運用方法について分析

Fernández, J. et al.(2014)^[5]:

エレベータの群管理アルゴリズム

- ✓ 複数のエレベータを管理するアルゴリズムに注目
- ✓ 不確実性を考慮して、顧客の平均待ち時間を最小化

かなり大規模かつ複雑な問題に注目し、課題解決を試みている

本研究は、**ミクロマネジメント**（現場の創意工夫などによる管理）に注目！

本研究の目的

11

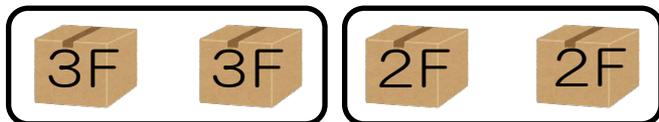
本研究の目的は、垂直輸送におけるバッチ化の影響を可視化することである

到着順(FIFO)でバッチ化

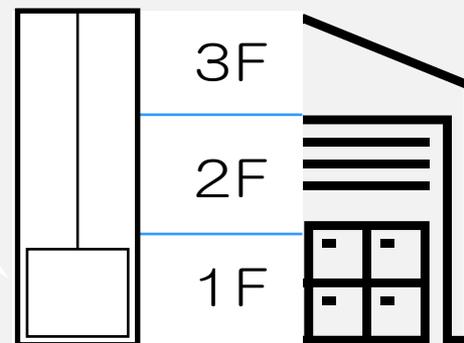


順番を入れ替えて...

同じ階でバッチ化



例：
2個積める
エレベータ



- ✓ バッチ化により、**ドアの開閉回数**は減少するので
➡ 荷物の**平均待ち時間**は減少する？
- ✓ 待ちの順番を入れ替えるので
➡ **特定の荷物の待ち時間**が急増してしまう？

01 背景
Introduction

02 研究の位置づけと目的
Research Positioning

03 シミュレーションモデル
Simulation Model

04 シミュレーション結果
Simulation Result

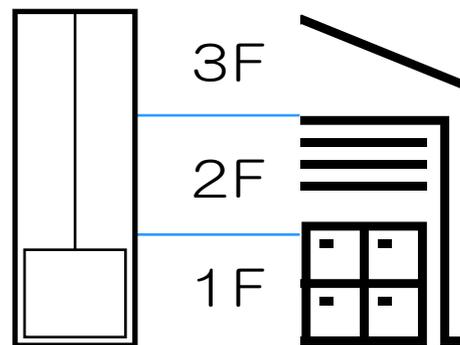
05 結論
Conclusion

シミュレーションモデル(S4 Simulation System)

①ものの到着モデル



②エレベータの稼働モデル

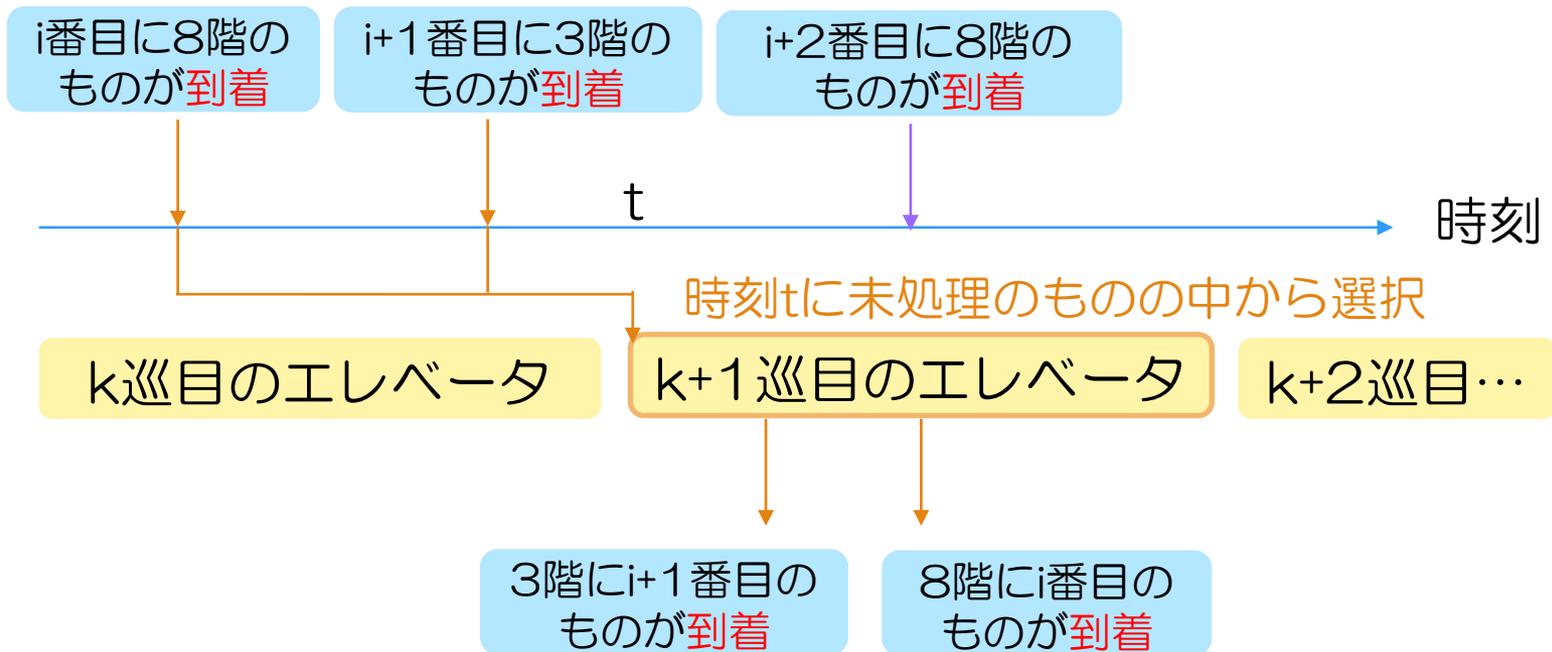


①ものの到着モデル

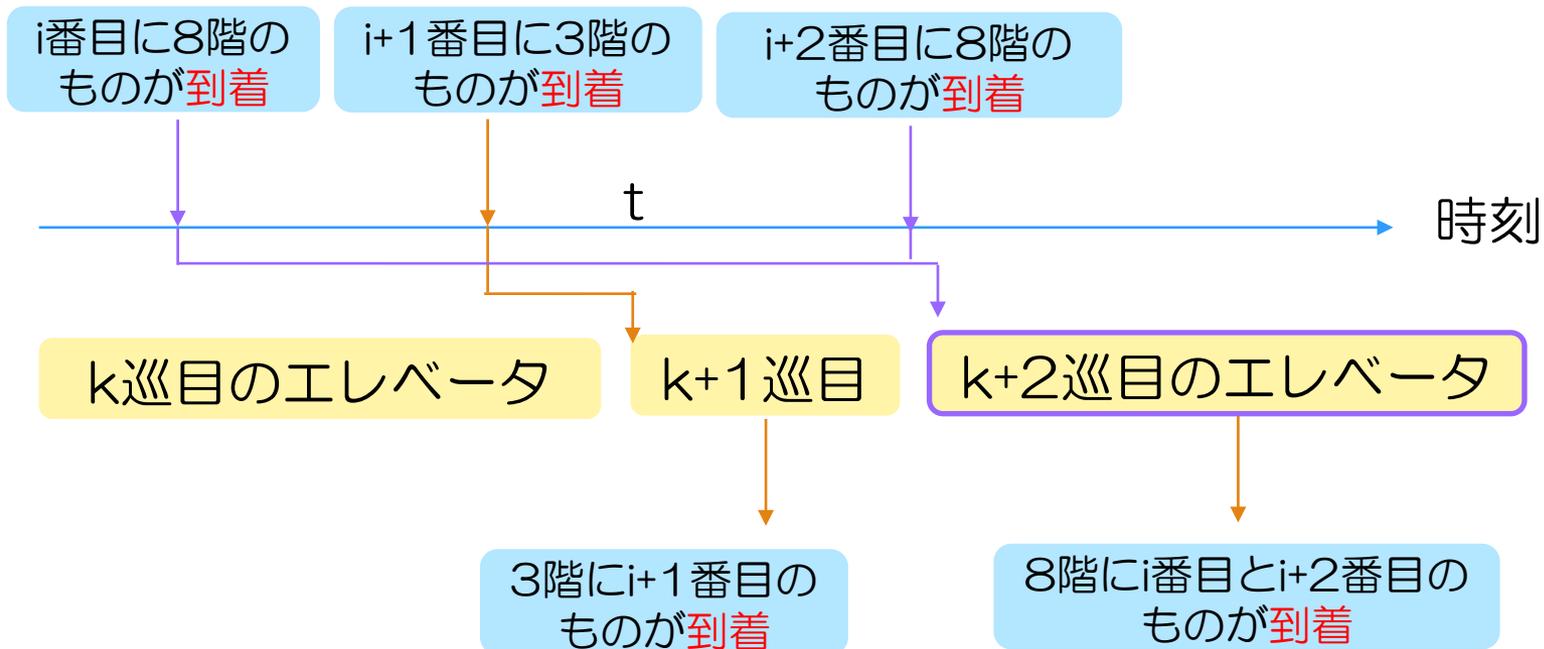
1Fへの荷物の到着は、平均の異なる2つの指数分布を利用

②エレベータの稼働モデル

エレベータへ格納する荷物のバッチ化は2つ方法を利用



- ✓ バッチ化の違いはものの待ち時間だけでなく、k巡目のエレベータの稼働時間にも影響する



- ✓ バッチ化により $i+2$ 番目のものの到着時刻が早くなりエレベータの稼働時間は短くなった
- ✓ i 番目の商品の到着時間が遅くなった

熟練者業者はこれらを総合的に判断しているのでは！

①ものの到着モデル

16

ものの到着間隔は指数分布に従い，荷物が50個届くまでを取り扱う



$$w_i = -\text{Log}(1 - R)/\lambda$$

R : $[0, 1]$ の一様乱数

λ : 到着率

$i \leq t$ のとき

$$\lambda = 0.2$$

$i > t$ のとき

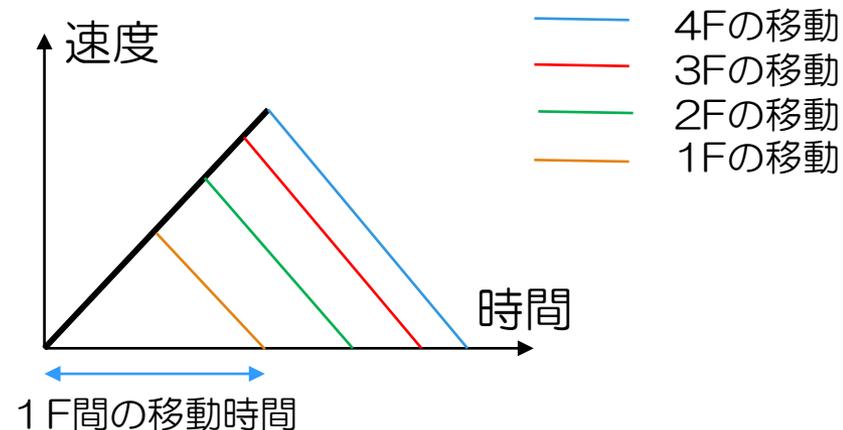
$$\lambda = 0.3$$

- ✓ シミュレーション前半は待ち行列が長くなり続ける
- ✓ 後半になると，緩やかに短くなる程度のパラメータ設定
- ✓ 荷物の目的階は2F~5Fを一様乱数にて決定

②エレベータの稼働モデル

エレベータは加速度を持ち、以下のように移動すると設定

エレベータの速度の概念図



エレベータの階層間の移動は、

- ✓ 階層間の半分の距離を加速
- ✓ 残り半分を減速

するように実施

長い階層を移動するほど、
単位距離当たりの移動時間は早くなる

エレベータ・建物の仕様

- ✓ 加速度： 1 (単位距離/単位時間²)
- ✓ ドアの開閉時間： 5 (単位時間)
- ✓ エレベータ容量： 5個
- ✓ 建物の階数： 1~5F
- ✓ 階層間の距離： 10 (単位距離)



格子グラフ

：格子グラフを環境として採用



荷物

：1Fへの荷物の到着間隔と目的階までの待ち時間を管理



エレベータ

：エレベータの動作と、収容する荷物のバッチ化を実施

大まかなシミュレーションフロー

- ① 荷物は1Fで発生し、「待ち」に格納される
- ② エレベータが1Fへ到着すると、「待ち」を検索し、バッチ化ルールに従いエレベータに格納する荷物を決定
- ③ 格納した荷物の目的階へ順番に向かい、荷物を下ろす
- ④ エレベータが1Fへ戻り、②から繰り返す。

2つのバッチ化ルール

エレベータは到着した荷物をバッチ化してから輸送する。
本研究では2つの方法でバッチ化を実施。

(A) 到着順(FIFO)でバッチ化

後到着

先到着



エレベータの動き

2F→3F→5F

✓ 先に到着した荷物から順番にエレベータで輸送

(B) 同一階層を優先してバッチ化



エレベータの動き

2F→5F

2F : 4つ 4F : 1つ

3F : 1つ 5F : 2つ

- ✓ 待ち行列の中で目的階が同じ荷物の個数を導出
- ✓ 最も多い荷物を優先し、残りはFIFOで実施

本研究では、2つのバッチ化ルールの影響を2つの実験から分析する

(A) 到着順(FIFO)でバッチ化

(B) 同一階層を優先してバッチ化

実験1：ルールAに従いバッチ化した場合、荷物の待ち時間を調査

実験2：ルールBにてバッチ化した場合において、

- ① FIFOと比較して平均待ち時間は減少するか？
- ② FIFOと比較して最大待ち時間が増加するか？

01 背景
Introduction

02 研究の位置づけと目的
Research Positioning

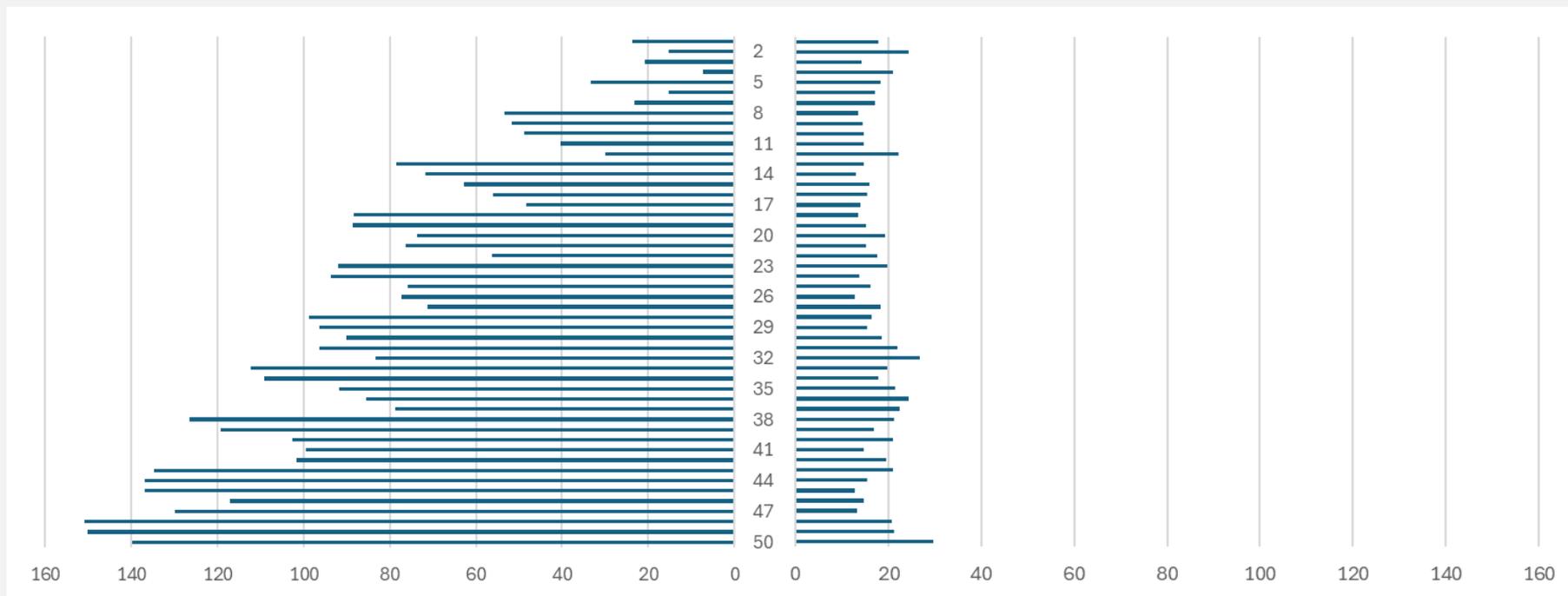
03 シミュレーションモデル
Simulation Model

04 シミュレーション結果
Simulation Result

05 結論
Conclusion

(A) 到着順(FIFO)でバッチ化

(B) 同一階層を優先してバッチ化



最大待ち時間：150.85
平均待ち時間：81.24

最大待ち時間：29.75
平均待ち時間：17.82

01 背景
Introduction

02 研究の位置づけと目的
Research Positioning

03 シミュレーションモデル
Simulation Model

04 シミュレーション結果
Simulation Result

05 結論
Conclusion

本研究の目的

垂直輸送における「バッチ化」指示の影響を可視化する

結果

- ✓ 単純なFIFOに比べて、同一の目的階である荷物を集めた方が、全体的な待ち時間は減少した

今後の方針

- ✓ 荷物の待ちに対するドライバーの不満足度を踏まえたエレベータ管理
 どの程度まで最大待ち時間を許容し、全体の効率を求めるべきか？

- [1] 公益社団法人全日本トラック協会, 知っていますか?物流の2024年問題,
<https://jta.or.jp/logistics2024-1p/> (閲覧日: 2024/12/02)
- [2] 株式会社野村総合研究所, トラックドライバー不足時代における輸配送のあり方,
<https://www.nri.com/-/media/Corporate/jp/Files/PDF/knowledge/report/cc/mediaforum/2023/forum351.pdf>
(閲覧日: 2024/12/02)
- [3] 国土交通省, 中小物流事業者のための物流業務のデジタル化の手引き,
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001608991.pdf>
(閲覧日: 2024/12/02)
- [4] Thebuwena, A.C.H.J., Samarakoon, S.M.S.M.K., Ratnayake, R.M.C., 2024. Optimization of energy consumption in vertical mobility systems of high-rise office buildings: A case study from a developing economy. Vol.17, article number 68,
<https://doi.org/10.1007/s12053-024-10246-5>
- [5] Fernández, J., Cortés, P., Muñozuri, J., Guadix, J., 2014. Dynamic Fuzzy Logic Elevator Group Control System With Relative Waiting Time Consideration. Vol. 61, pp.4912-4919.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2013.2289867>

本研究の実施にあたり、多くの助言と励ましをいただきました株式会社大林組の皆様に深く感謝申し上げます。