

オーダーピッキングにおける 作業者混雑緩和のための 倉庫レイアウトシミュレーション

東京理科大学 理工学部 経営工学科

上田 洸希 田島 絵里佳

指導教員：石垣 綾

1. 背景

サプライチェーン

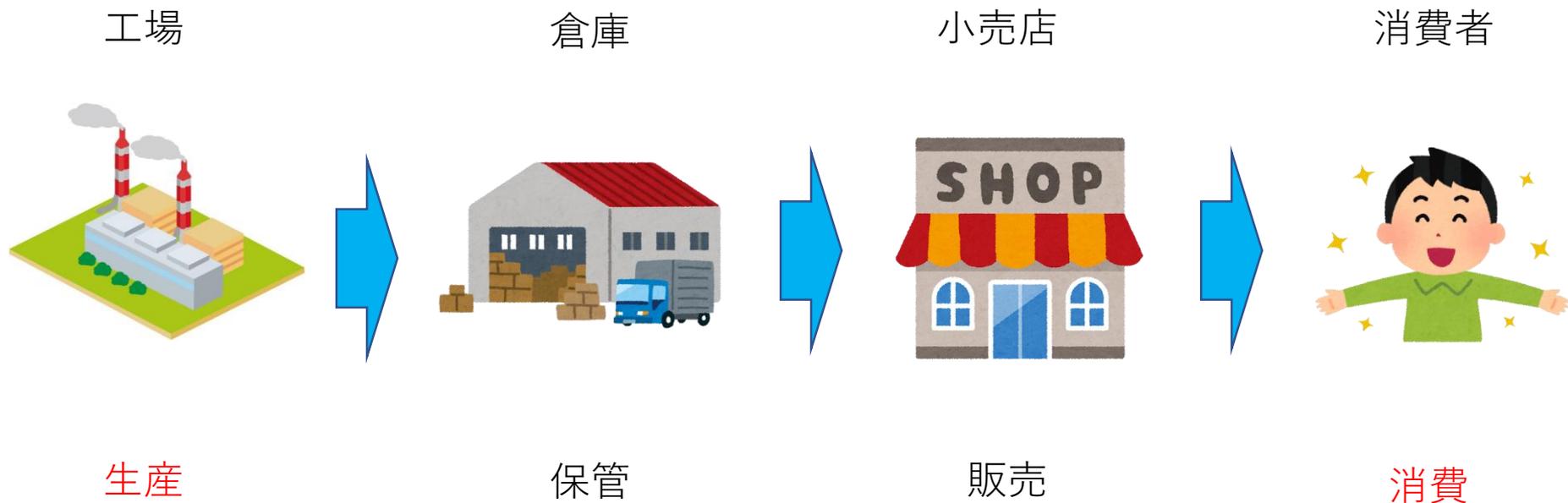


図1 サプライチェーンの流れ

物流倉庫はサプライチェーンの中核に存在

倉庫の作業効率化は消費者に製品を短期間で届けるため、企業間の競争に勝つために必要不可欠である

1. 背景

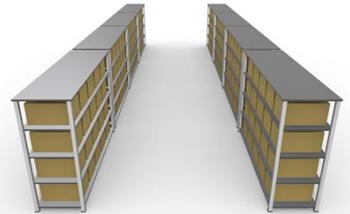
物流倉庫内の作業

倉庫の総運用コストの**55%**
を占める (Koster, 2007)

入荷



保管



オーダーピッキング



出荷



図2 倉庫内作業の流れ

ピッキングは倉庫の運用コストの半分以上を占めていることから、
物流倉庫内で最も重要な作業である

ピッキング作業の効率化が倉庫全体の効率化に繋がる

1. 背景

ピッキングの作業

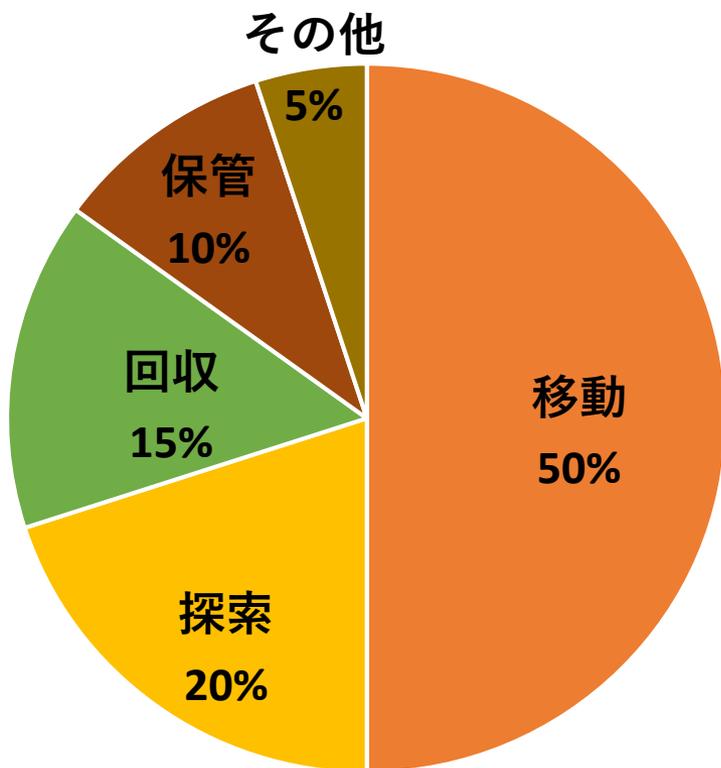


図3 ピッキング作業時間割合 (Koster, 2007)

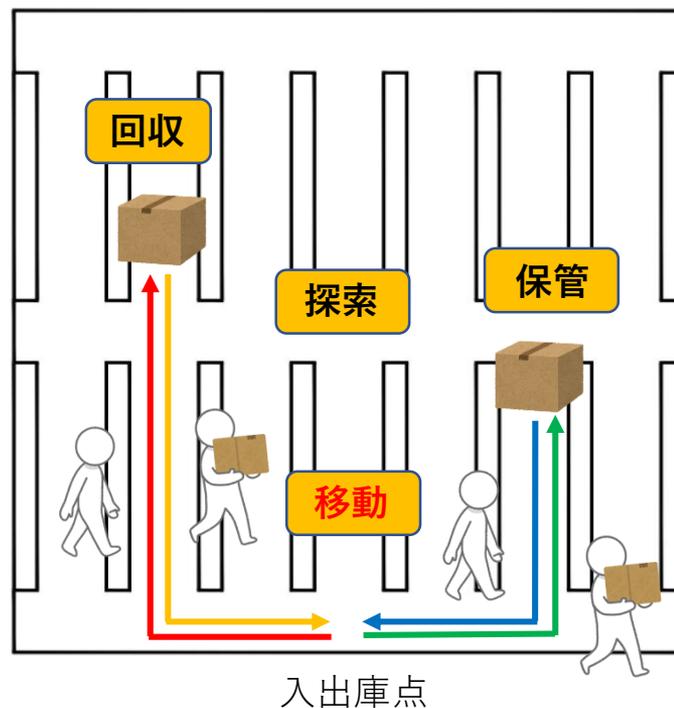


図4 ピッキング作業

ピッキングの作業時間において「**移動**」が全体の半分を占める



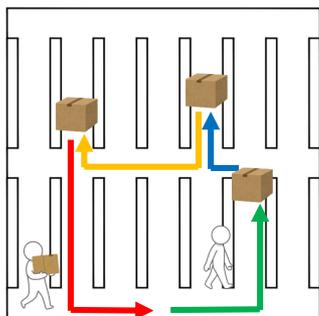
移動時間の短縮が必要

1. 背景

ピッキングにおける移動時間を短縮する4つの方法

① ルーティング

ピッキングの順番の変更



③ 保管割り当て

商品の棚への割り当て方の変更



本研究で扱う

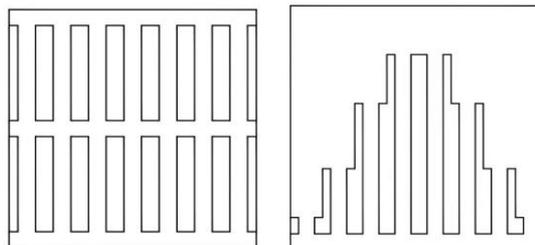
② オーダーバッチング

複数の注文をまとめて収集



④ レイアウト

倉庫の形状、棚、通路の配置の変更



2. 先行研究

倉庫レイアウトに関する研究

- An analysis of dual-command operations in common warehouse designs (Pohl, 2009)
- Optimal layout in low level picker to part systems (Caron, 2000)

それぞれ3種類の倉庫レイアウトについて分析

- これらの研究は**単一の作業者**を仮定
- 評価指標は期待**移動距離**



しかし

現実の倉庫では複数人が同時に作業を行うとき、作業者が密集する箇所では**混雑**が発生し、これは衝突回避などの**相互作用**によって**タイムロス**になる

そのため作業者が複数人の場合、必ずしも“移動距離が短い” = “作業効率が良い”とは限らず、**移動時間**の考慮が必要になる

複数作業者間の相互作用を考慮した、レイアウトの最適化が必要

3. 目的

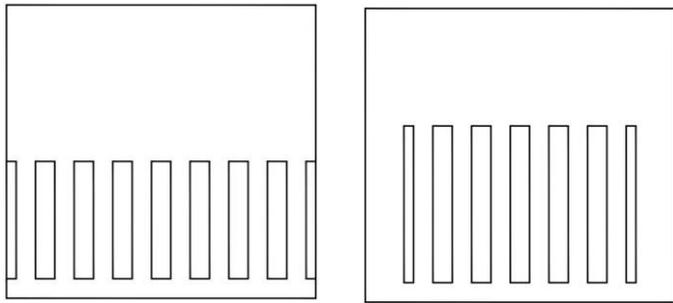
オーダーピッキング倉庫における作業者間の相互作用を考慮したシミュレーションを行い、混雑を緩和して、移動時間が最小となるレイアウトの検討をする

4. モデル

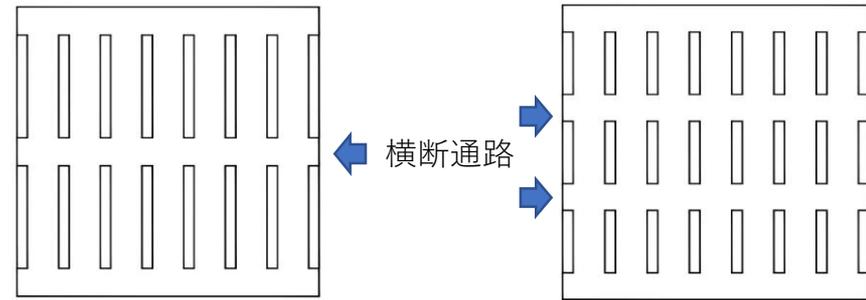
倉庫レイアウトデザインの要素

本研究では
この要素に着目

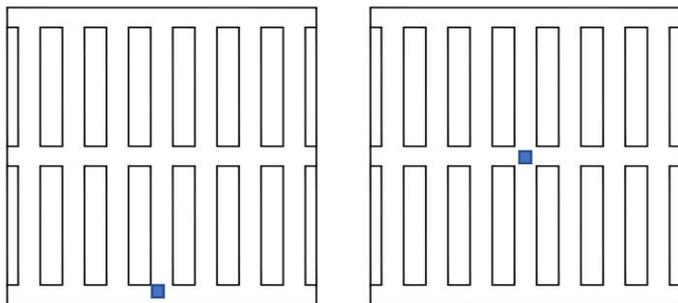
① 倉庫の形状、縦横比



③ 横断通路の位置と数

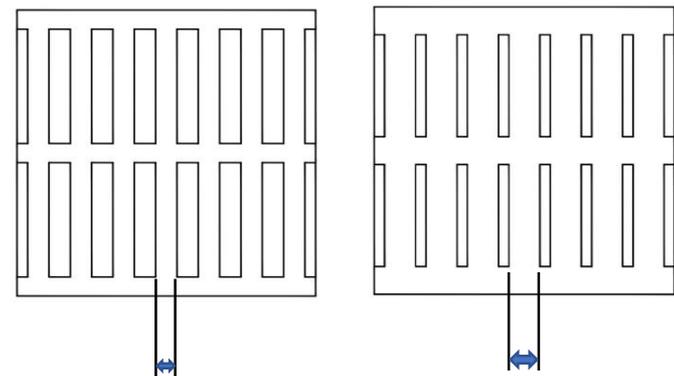


② 入出庫点の位置



■ 入出庫点：作業者の出発・到着地点

④ 通路幅



4. モデル

5つのレイアウトを用意

※ 棚の総面積は一定 ($192m^2$)

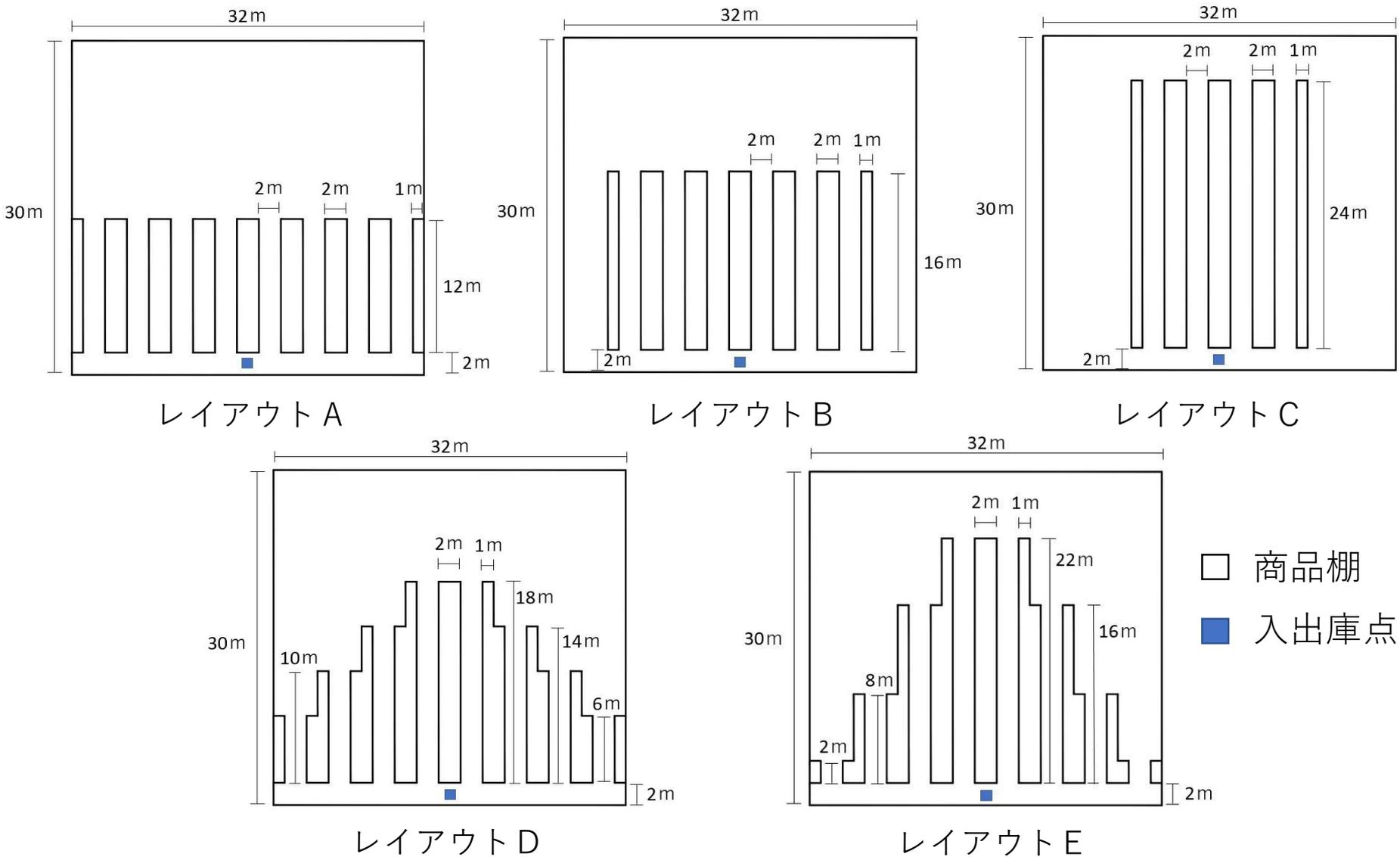


図5 倉庫レイアウト①

4. モデル

以上5つのレイアウトを用いて**単一命令移動**のシミュレーションを実施

単一命令移動

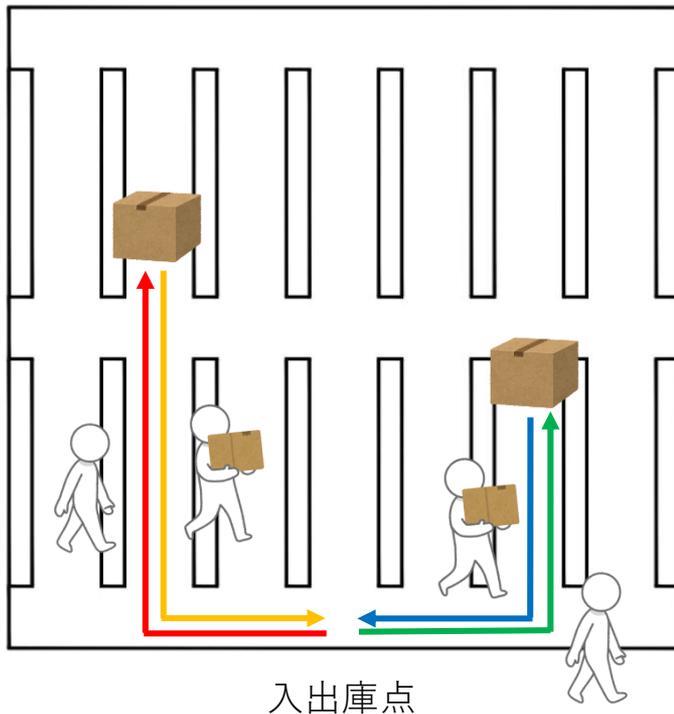


図6 単一命令移動

作業者が入出庫点から出発し、倉庫内の**ある1地点**でピッキングを行い、そのまま入出庫点に戻ってくる移動の仕方

またこのときの作業者が入出庫点を出発し、再び入出庫点に戻ってくるまでの移動時間を**総滞留時間**とする

4. モデル

汎用シミュレーションシステム S^4 Simulation System を用いて
ソーシャルフォースモデルを基にしたシミュレーションを行う

表1 本研究で用いるパラメータ

パラメータ	定義	値
A_i	相互作用の強さ (N)	2,000.0
B_i	相互作用の範囲 (m)	0.08
k	弾性係数 (kg/s ²)	120,000.0
K	散逸係数 (kg/ms)	240,000.0
r	最大影響半径 (m)	3.0
T	経路再探索間隔 (s)	15.0
$v_i^0(t)$	最適速度 (m/s)	0.6
$v_i^1(t)$	最高速度 (m/s)	1.5
R	作業者の半径 (m)	0.25
m	作業者の体重 (kg)	50.0
τ_i	加速時間 (s)	0.5

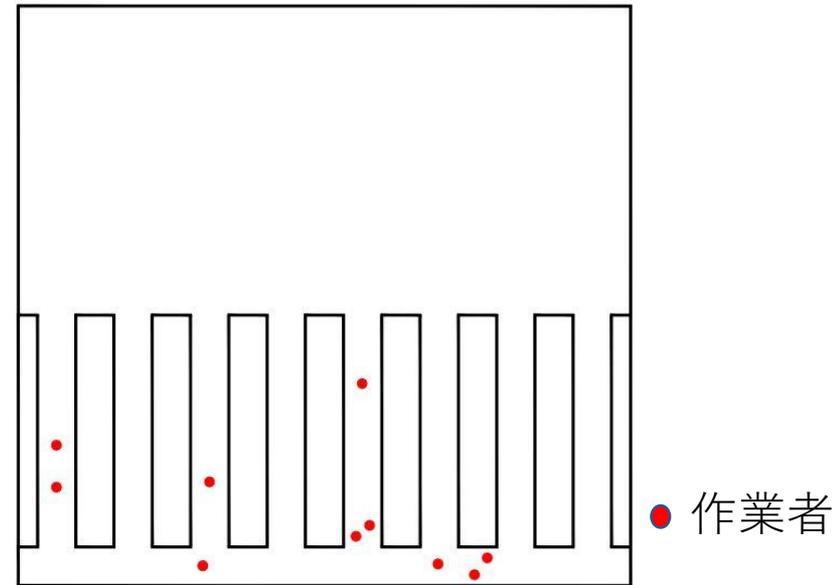


図7 シミュレーション実行画面の例

- シミュレーション時間：3,600 s
- ピッキング地点は一様分布に従ってランダム
- 作業者は単一命令移動をする
- 作業者の人数：3パターン（1、5、10人）
- それぞれのレイアウト、作業人数につき200回ずつ実験

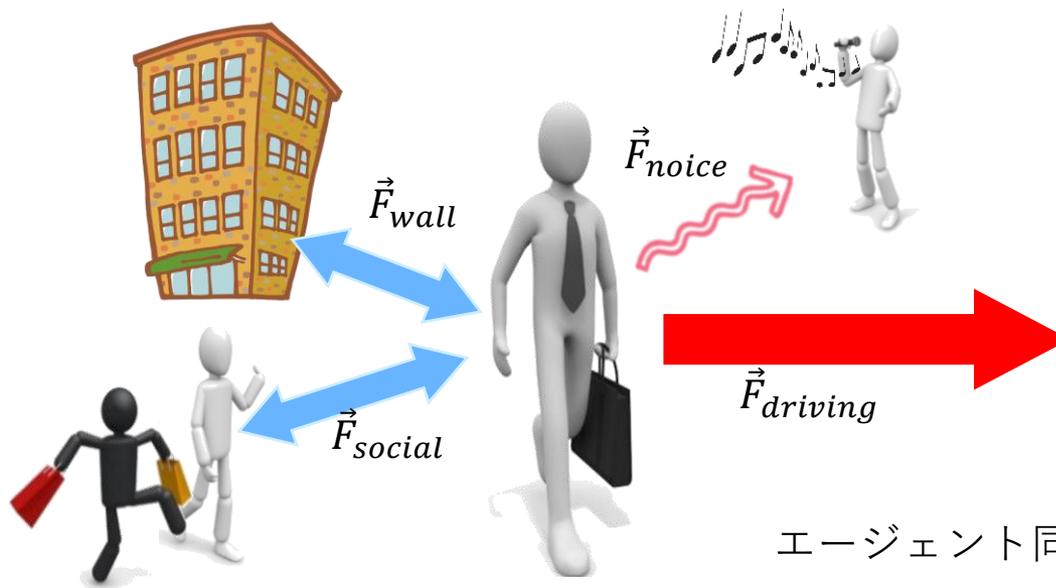


総滞留時間の平均を出力、
これを評価指標とする

4. モデル

ソーシャルフォースモデル

群衆行動の力学ベースモデル (Dirk Holding, Peter Molnar 提唱)



エージェント同士の影響を力学的に表現

$$\vec{F} = \vec{F}_{driving} + \vec{F}_{social} + \vec{F}_{wall} + \vec{F}_{noise}$$

図8 ソーシャルフォースモデル

様々な個性を持つエージェント同士の空間的相互作用を表現できる

➡ 作業員間の相互作用を考慮したレイアウトの検討が可能となる

5. 結果

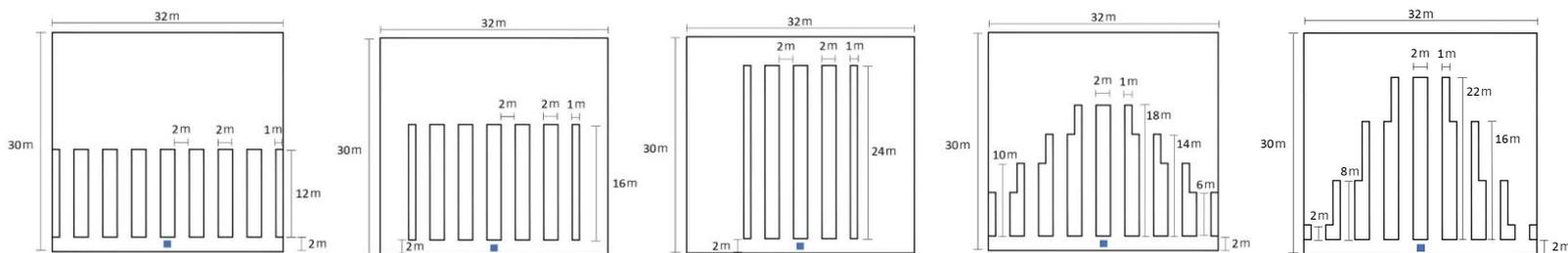
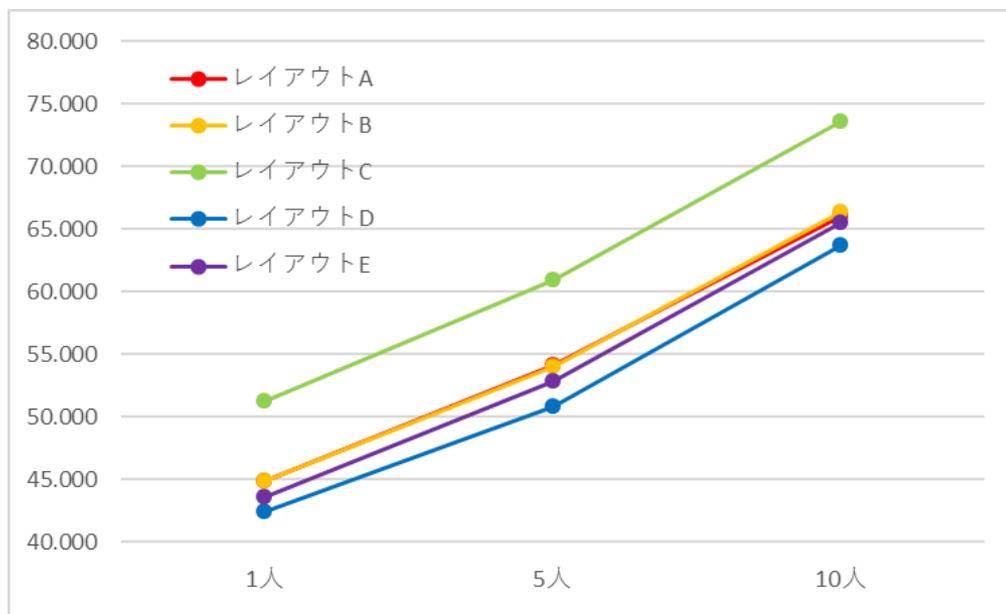


表2 総滞留時間①

	レイアウトA	レイアウトB	レイアウトC	レイアウトD	レイアウトE
1人	44.840	44.935	51.216	42.411	43.591
5人	54.154	54.073	60.898	50.823	52.826
10人	66.083	66.314	73.568	63.744	65.473

総滞留時間の平均 [s]



作業人数 [人]

図9 結果①



作業者の人数に関わらず
レイアウトDが最良

いずれのレイアウトにおいても、作業人数が増加するにつれて混雑による影響が増すことで、総滞留時間は増加していることがわかる

レイアウトDは、横の移動が多いと縦の移動が少なくなり、平均的な移動距離が小さくなるようなレイアウトであったために最良になったと考えられる



レイアウトDについてさらに
改良することを検討する

5. 結果

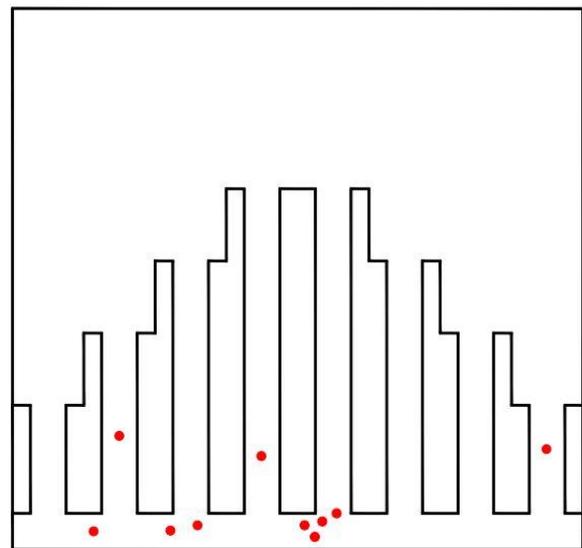


図10のように、入出庫点が存在する一番下の通路で混雑が発生しやすい

倉庫レイアウトデザインの要素

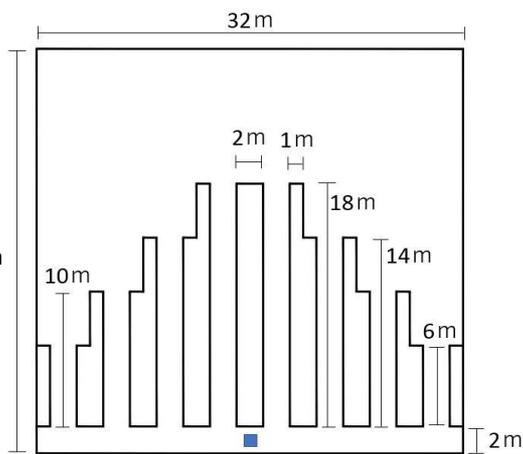
- ① 倉庫の形状、縦横比
- ② 入出庫点の位置
- ③ 横断通路の位置と数
- ④ 通路幅

ここに着目

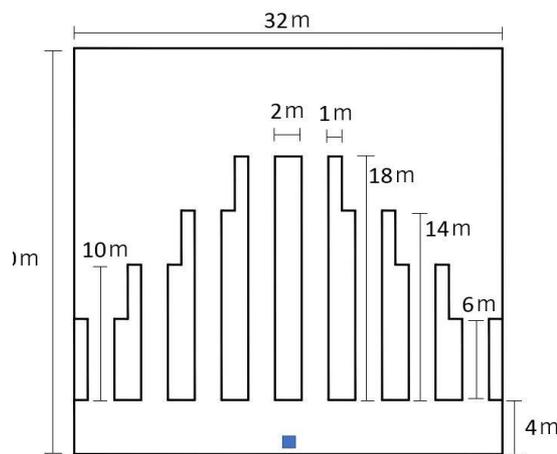


図10 シミュレーション実行画面 (レイアウトD)

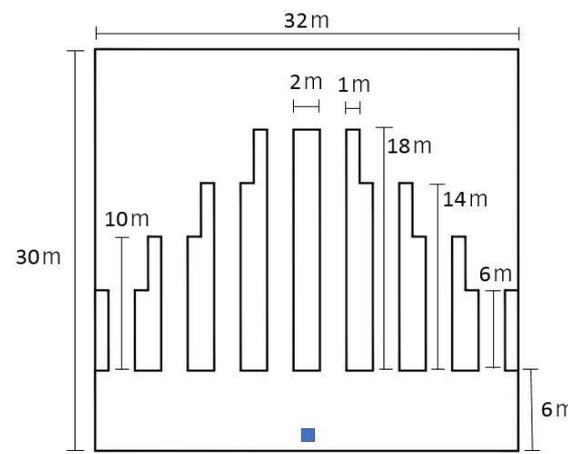
一番下の通路幅を広げたレイアウトを検討



レイアウトD 1 (レイアウトD)



レイアウトD 2



レイアウトD 3

- 商品棚
- 入出庫点

図11 倉庫レイアウト②

5. 結果

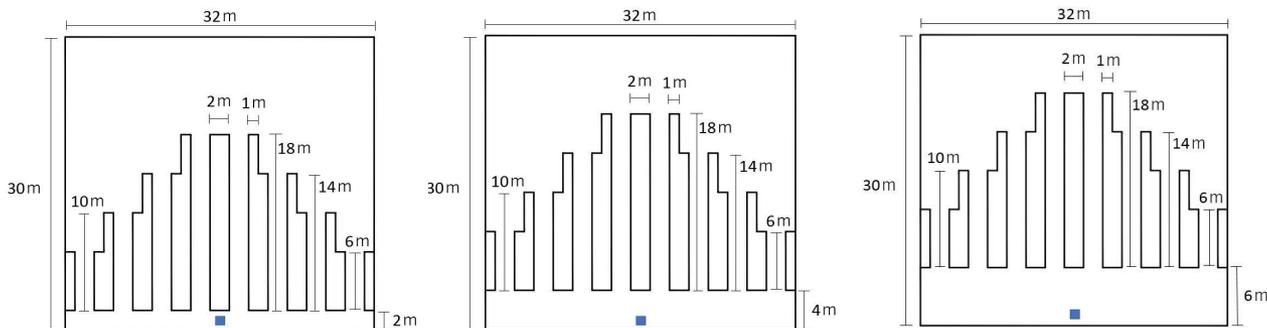
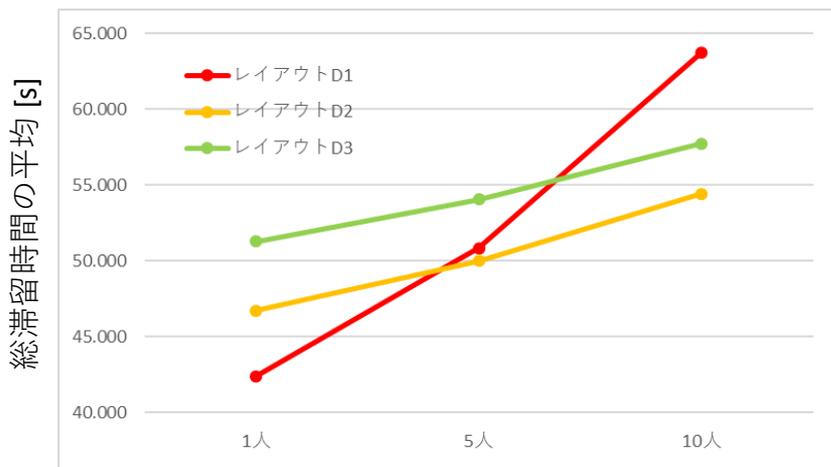


表3 総滞留時間②

	レイアウトD1	レイアウトD2	レイアウトD3
1人	42.411	46.709	51.287
5人	50.823	49.999	54.032
10人	63.744	54.418	57.712



作業人数 [人]

図12 結果②

作業者が1人のとき・・・レイアウトD1が最良

混雑の発生なし

作業者が5, 10人のとき・・・レイアウトD2が最良

通路幅が広がるほど混雑は少なくなるが、その分、棚までの距離が長くなる。この2つがトレードオフの関係にあるといえる

レイアウトD2とD3を比較すると、作業人数が増加するにつれて総滞留時間の差が縮まっているため、作業人数がさらに増えることでレイアウトD3が最良になる可能性もある

それぞれの作業人数に合った最適な通路幅が存在する

5. 結果

続いて、棚の少ない倉庫の端の方では作業者が少なく、混雑もあまり発生していないのではないかと考え、場所によって通路幅の異なる以下のようなレイアウトD 1.5、D 1.8についても検討する。これらのレイアウトはレイアウトD 1の期待移動距離の短さとレイアウトD 2の入出庫点付近の混雑緩和の両方の効果を取り入れたレイアウトといえる

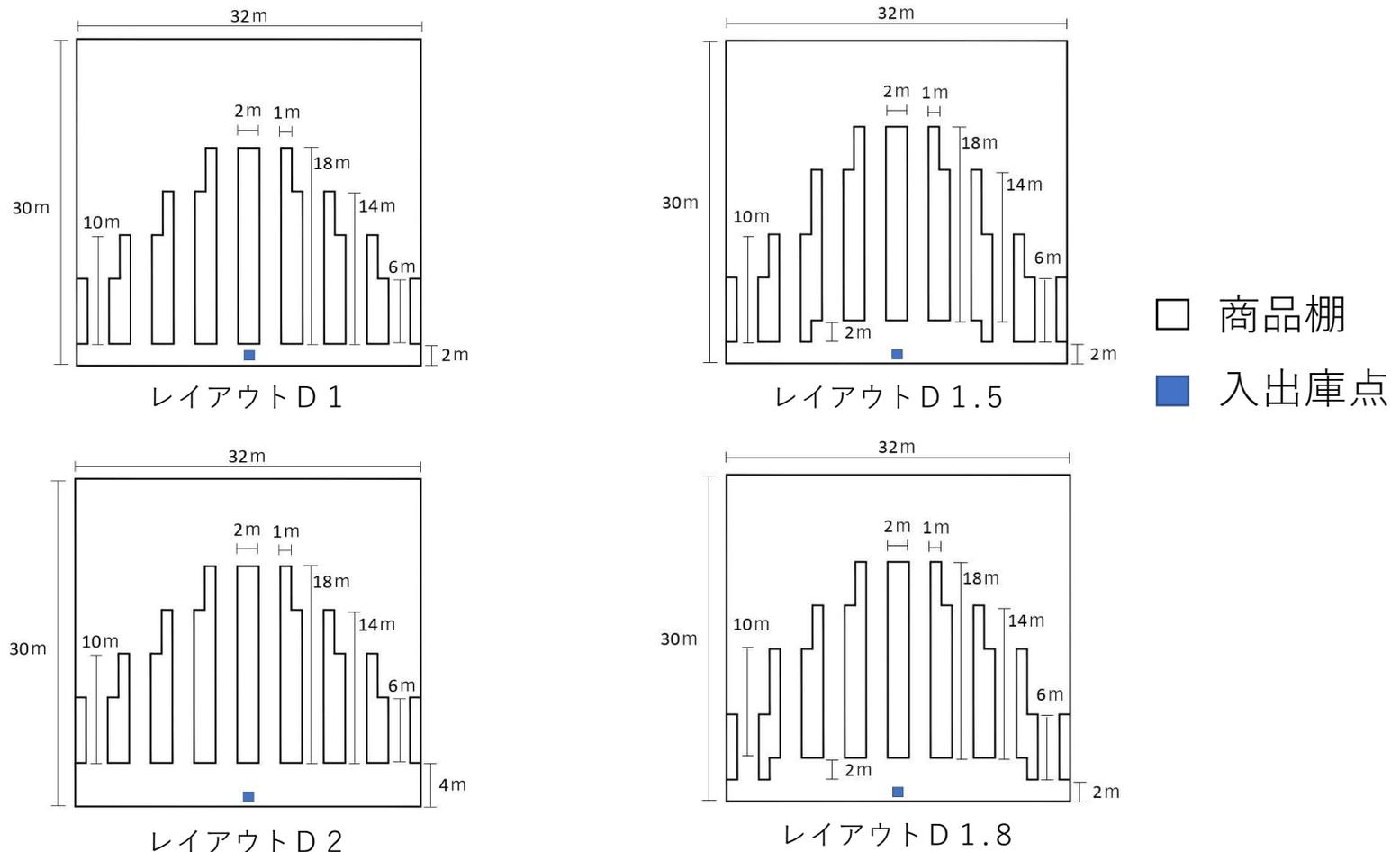


図 1 3 倉庫レイアウト③

5. 結果

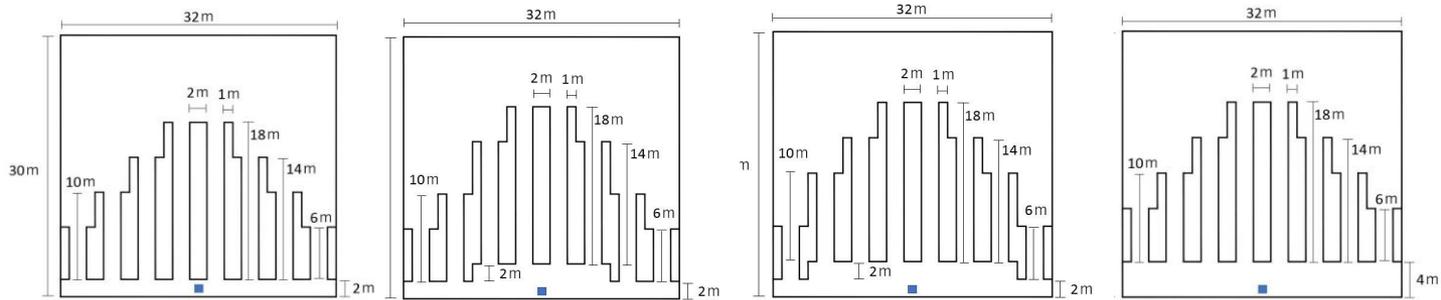
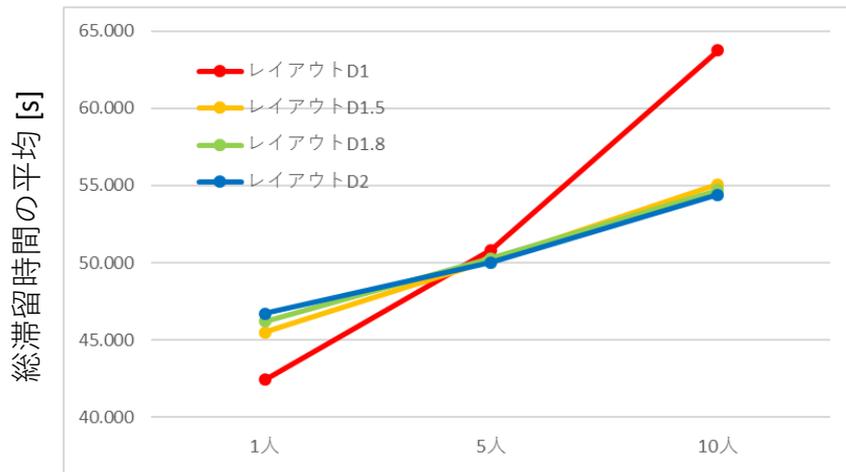


表4 総滞留時間③

	レイアウトD1	レイアウトD1.5	レイアウトD1.8	レイアウトD2
1人	42.411	45.502	46.195	46.709
5人	50.823	50.158	50.292	49.999
10人	63.744	55.073	54.711	54.418



作業人数 [人]

図14 結果②

作業者が1人のとき・・・レイアウトD1が最良
 作業者が5,10人のとき・・・レイアウトD2が最良

レイアウトD1.5、D1.8は最良のレイアウトとはならなかったものの、レイアウトD2とほとんど同じ性能を示した

複数作業者の場合、入出庫点のまわりの通路幅を広げるだけで混雑の具合は緩和される

入出庫点の周辺に空間を作ることが混雑緩和に繋がり、それによって作業効率化がはかれる

6. まとめ

目的

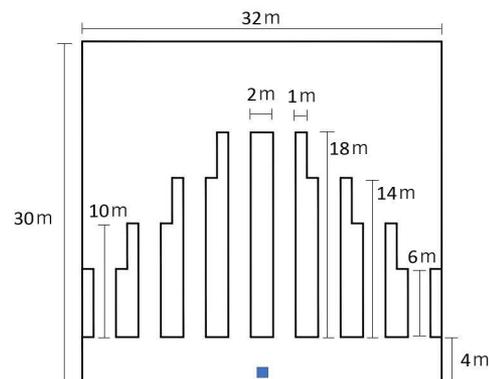
オーダーピッキング倉庫における作業者間の相互作用を考慮したシミュレーションを行い、混雑を緩和して、移動時間が最小となるレイアウトの検討をする

作業者が複数人（5人～10人程度）存在する場合、**レイアウトD2**が最良となった

- ・ 棚までの平均移動距離が短い
- ・ 入出庫点付近に混雑を緩和する適度な大きさの空間がある

以上の理由でレイアウトD2が最良となったと考えられる

複数人が同時に作業をする倉庫を想定する場合のレイアウト設計は移動距離を短くするだけでは必ずしも最良の選択肢にはならず、棚までの距離を多少長くしてでも、**混雑緩和のための空間を作る**ことが作業の効率化に繋がる



レイアウトD2

今後の課題

- ・ 今回扱わなかったレイアウトデザインの要素（入出庫点など）の変更による効果の検討
- ・ 一回の作業で複数の棚をまわる場合のレイアウトの検討

7. 参考文献

- [1] Rene de Koster, Tho Le-Duc, Kees Jan Roodbergen, “Design and control of warehouse order picking: A literature review”, European Journal of Operational Research, Volume 182, Issue 2, 16 October 2007, Pages 481-501
- [2] Letitia M. Pohl, Russell D. Meller, Kevin R. Gue, “An analysis of dual-command operations in common warehouse designs”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 45, Issue 3, May 2009, Pages 367-379
- [3] Franco Caron, Gino Marchet, Alessandro Perego, “Optimal layout in low level picker to part systems”, International Journal of Production Research, Volume 38, Issue 1, 2000, Pages 101-117

謝辞

本共同研究において様々なご助言をいただきました、水岩グループの濱田雅人氏と河合航氏、様々な技術的サポートをして頂きました、(株)NTTデータ数理システムの嶋田佳明氏に心より御礼申し上げます。