

多段階サプライチェーンにおける トラックドライバー不足解消のための シミュレーション分析

(株)NTTデータ数理システム ユーザカンファレンス

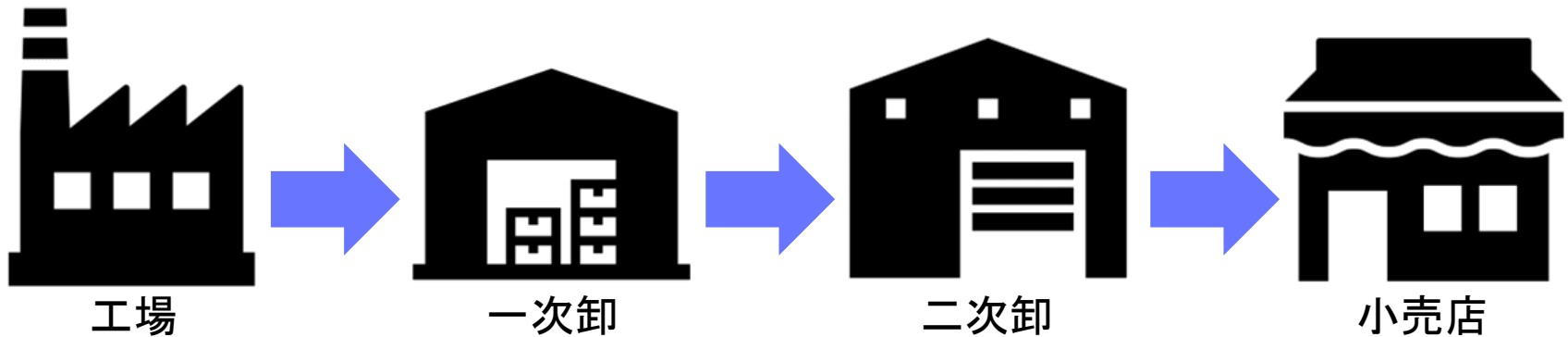
東京理科大学 理工学部経営工学科

石橋咲月, 田島絵里佳, 石垣綾

目次

- 1.はじめに
- 2.目的
- 3.シミュレーションモデル
- 4.シミュレーション結果
- 5.まとめ

1. はじめに



近年、顧客ニーズが多様化し、製品のライフサイクルが短命化
→変化に柔軟で多品種少量生産に対応したシステムを設計

重要



物流において、商品輸送量および輸送頻度が増加傾向にある



需要**変化**に柔軟に**対応**しつつ

サプライチェーン全体の**輸送効率**を**上げる**ことが必要

1. はじめに

□トラックドライバー数の制限

➤トラックドライバー数は年々減少傾向にある

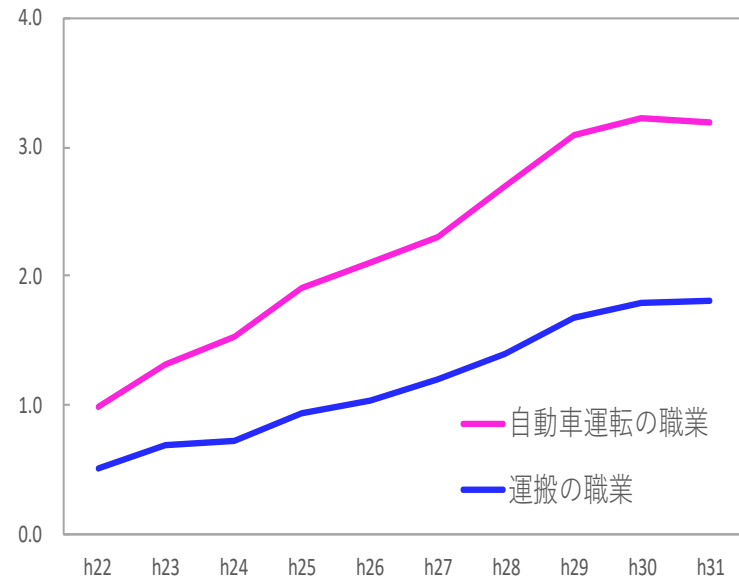
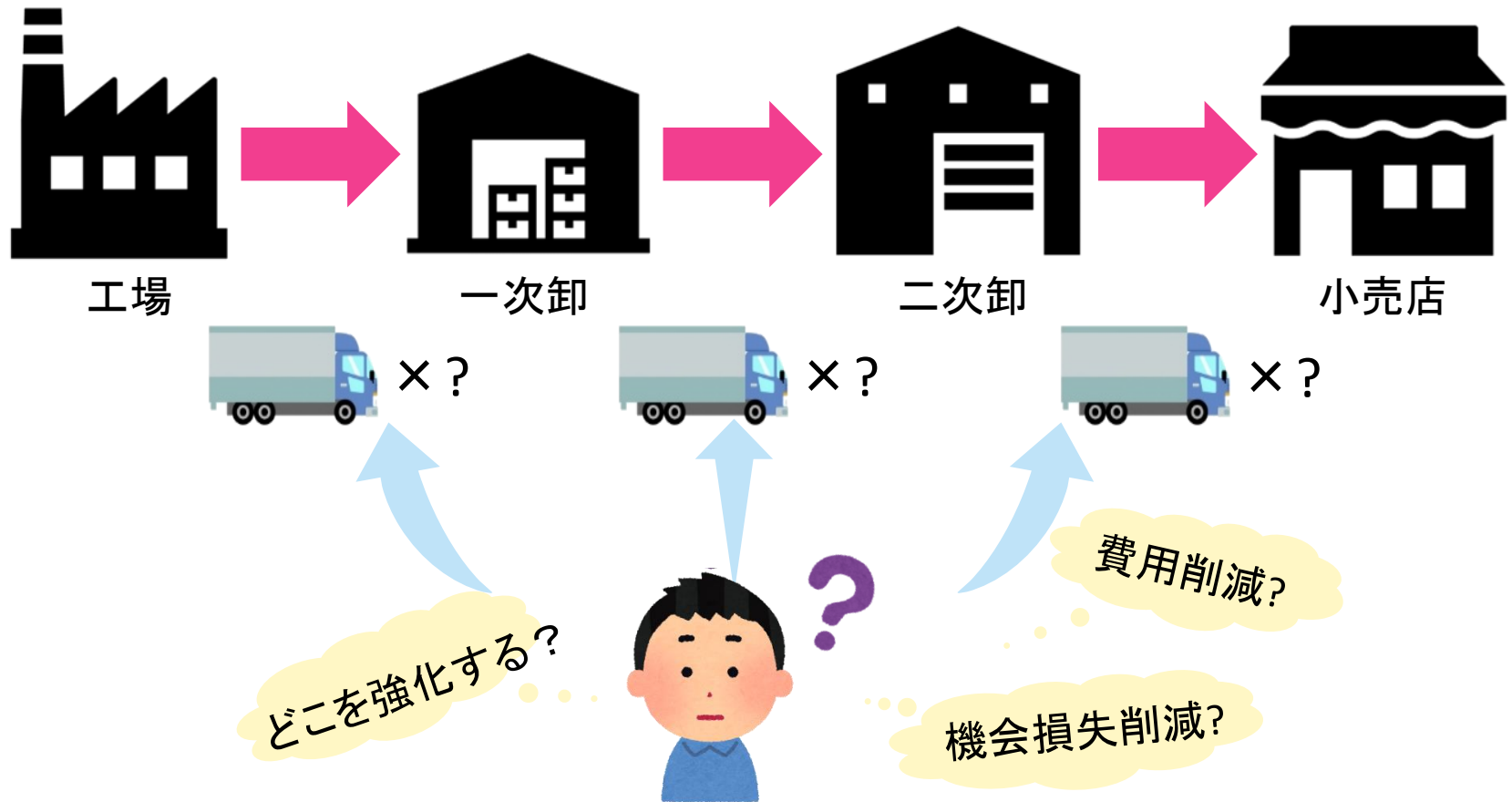


図. トラックドライバー有効求人倍率の推移
(厚生労働省「職業安定業務統計」)

**サプライチェーン全体で利用できる輸送資源
(トラック・ドライバー)に限りがある**

1. はじめに

□ 輸送能力の配分



輸送効率を高めるために、限られた輸送能力(ドライバー・トラック)をどのように配分する？

1. はじめに

□ 消費者需要は日々変動する

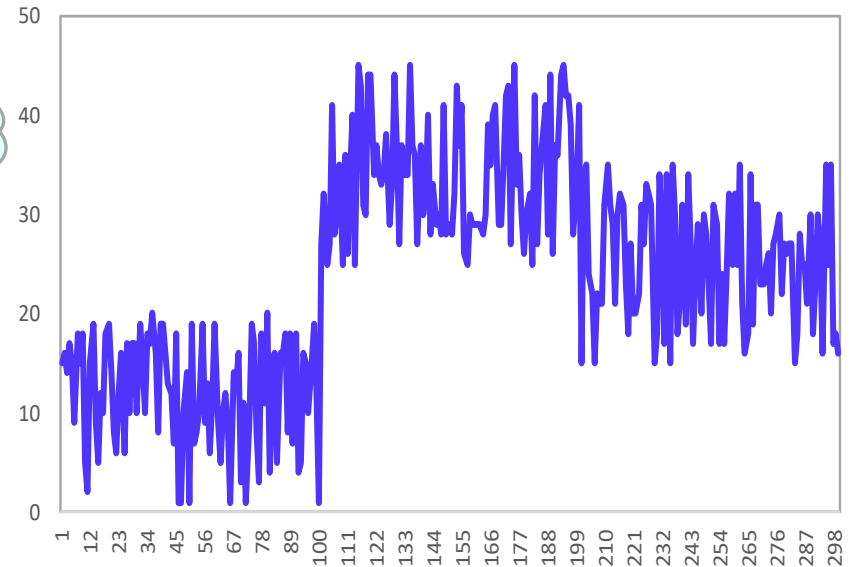


図. 消費者需要の例

需要の大幅な変動により最適なトラック割当も変動する可能性がある

1. はじめに

シミュレーション: 現実のシステムをモデル化(模擬)して, 実行することでその振る舞いを分析・予測する問題解決手法

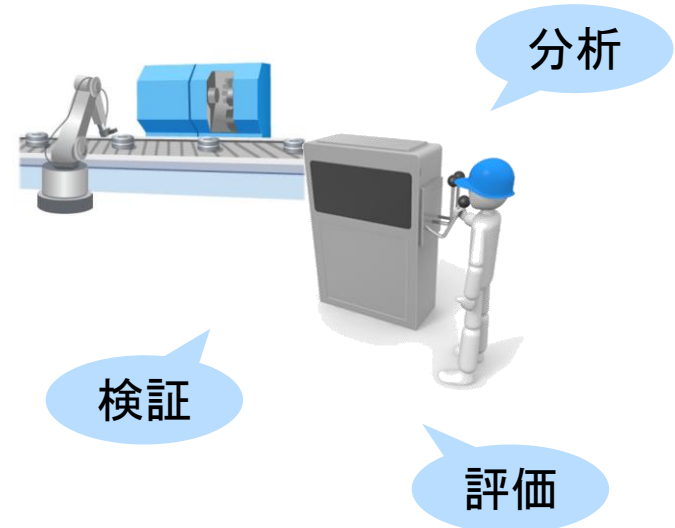
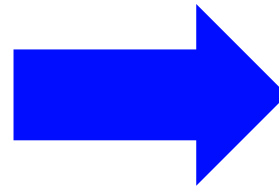
現実の複雑なシステム



図. 現実のシステム

モデル化

目的により特徴を抽出し, 簡略化

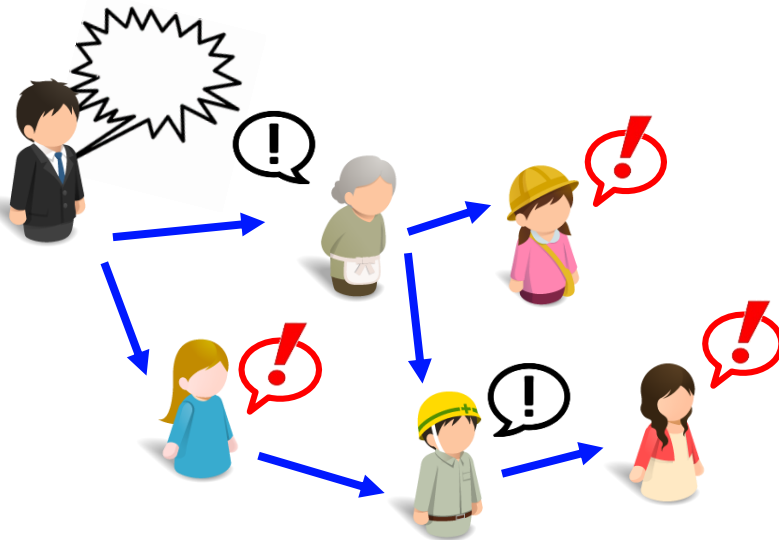


シミュレーションを用いて需要の大幅な変動に頑健なトラック割当を分析

1. はじめに

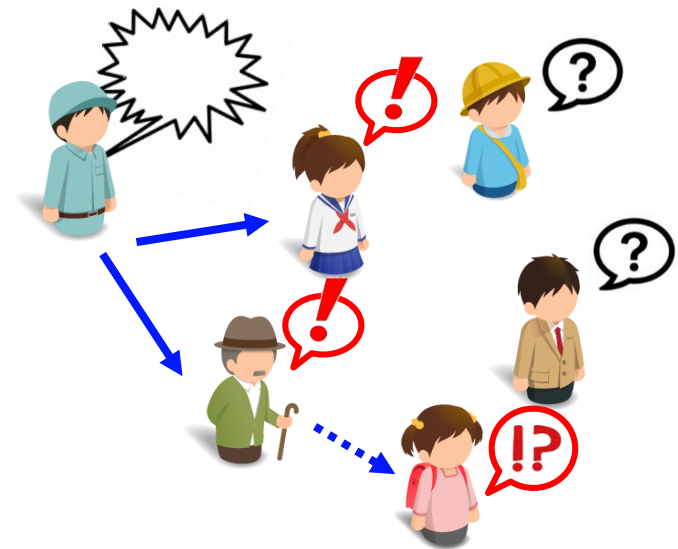
一般的なシミュレーション

情報は全体に一瞬かつ均一に伝わる



マルチエージェントシステム

情報は局所的かつ不均一に伝わる

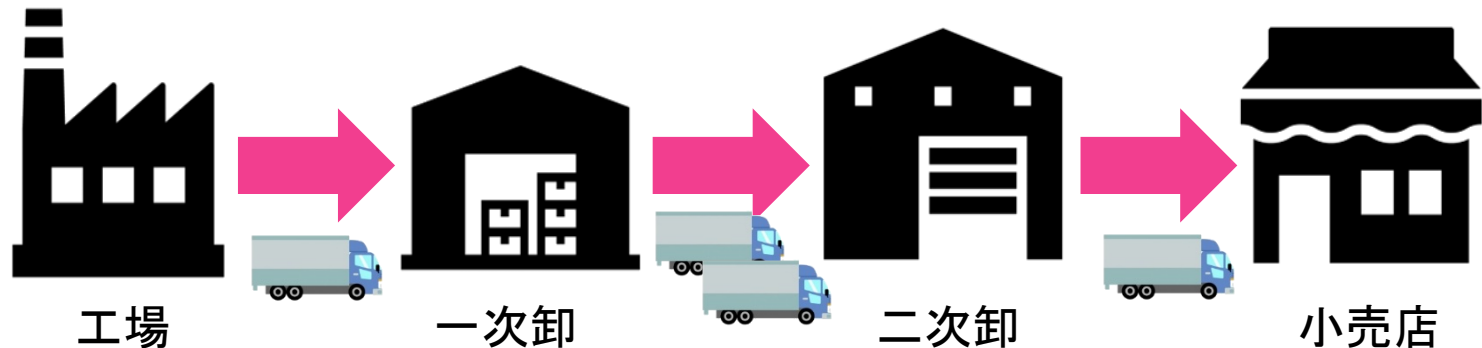


複雑な条件下においてはマルチエージェントシステムが適している

2. 目的

目的

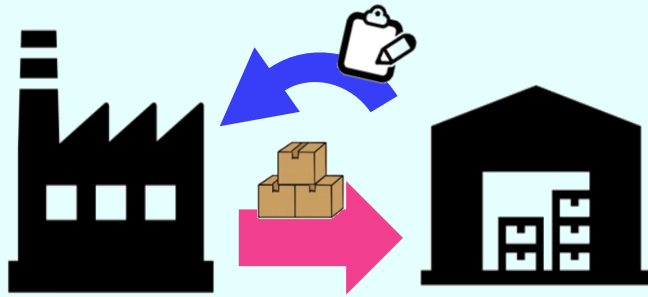
マルチエージェントシステムを用いて多段階サプライチェーンモデルを構築し、各区間における輸送能力の配分(トラックの割当)がサプライチェーンに及ぼす影響について分析する



3. シミュレーションモデル

3.1 研究手順

☐ モデルの構築



発注方法

消費者需要

発注量

リードタイム

輸送トラックの割当

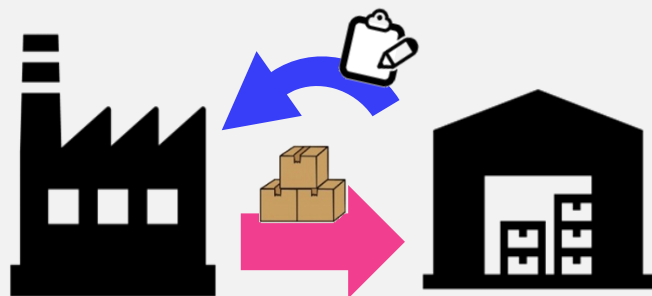
☐ シナリオ設定

☐ シミュレーション

3. シミュレーションモデル

3.2 本モデルの概要

☐ モデルの構築



発注方法

消費者需要

発注量

リードタイム

輸送トラックの割当

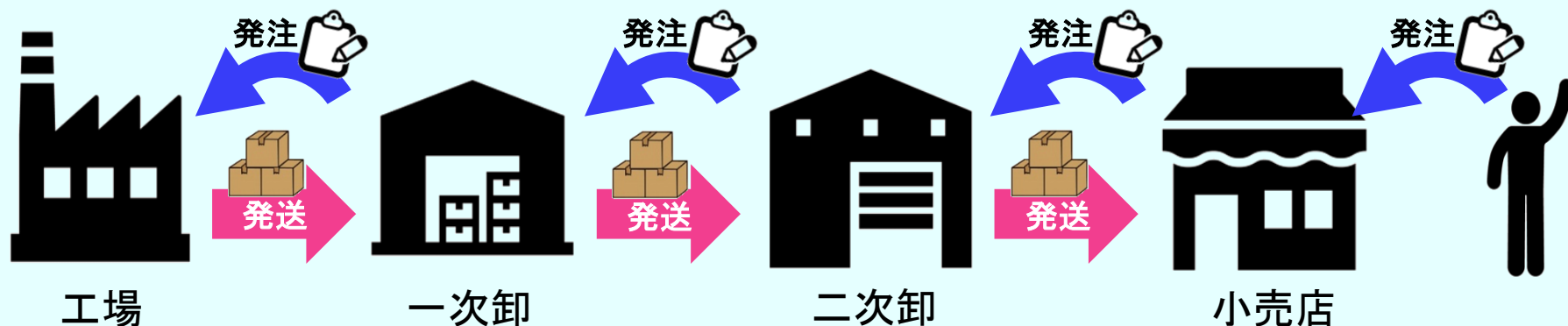
☐ シナリオ設定

☐ シミュレーション

3. シミュレーションモデル

3.2 本モデルの概要

サプライチェーンモデル



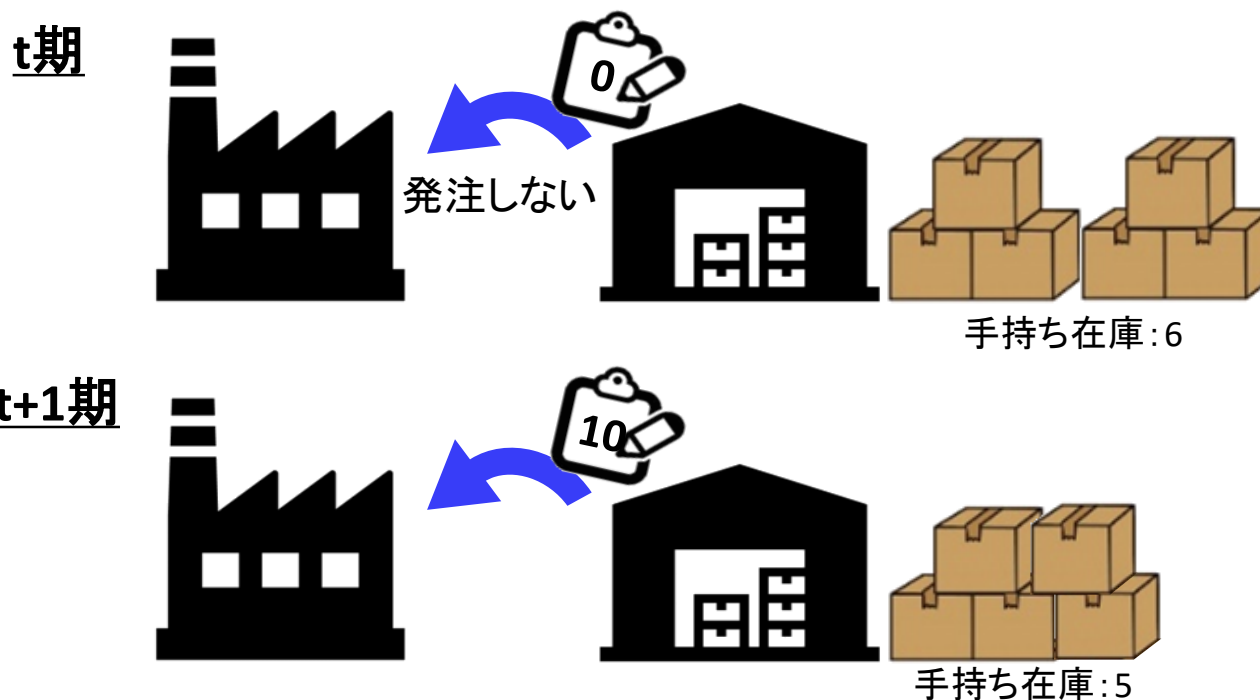
- ✓「工場」「一次卸」「二次卸」「小売店」の4段階
- ✓小売は消費者エージェントから需要を受け取る
- ✓各エージェントは発注量に応じて自身の在庫を減らし、商品を発送

3. シミュレーションモデル

3.3 モデル設定

発注点方式： 在庫量が発注点まで達したとき、一定量を発注する

ex) 発注点:5, 発注量:10



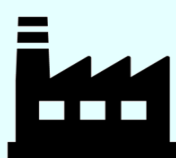
本研究では発注点方式を用いて各エージェントが商品を発注する

3. シミュレーションモデル

3.3 モデル設定

手持ち在庫が発注数に満たない場合...

ex)



工場エージェント

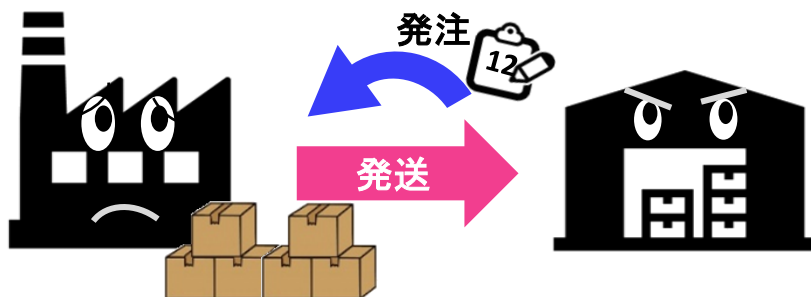
手持ち在庫:6



一次卸エージェント

発注数:12

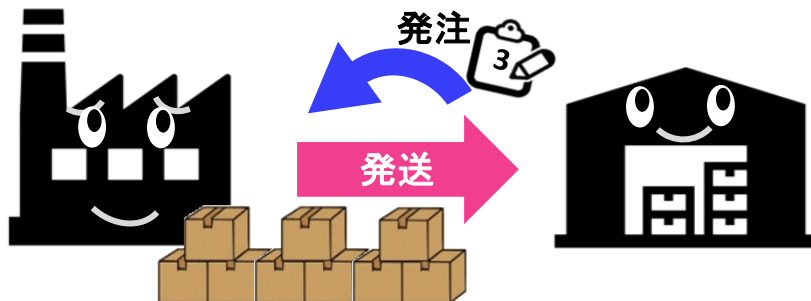
t期



発送(6)=手持ち在庫(6)

工場は手持ち在庫分だけ
一次卸に発送する

t+1期



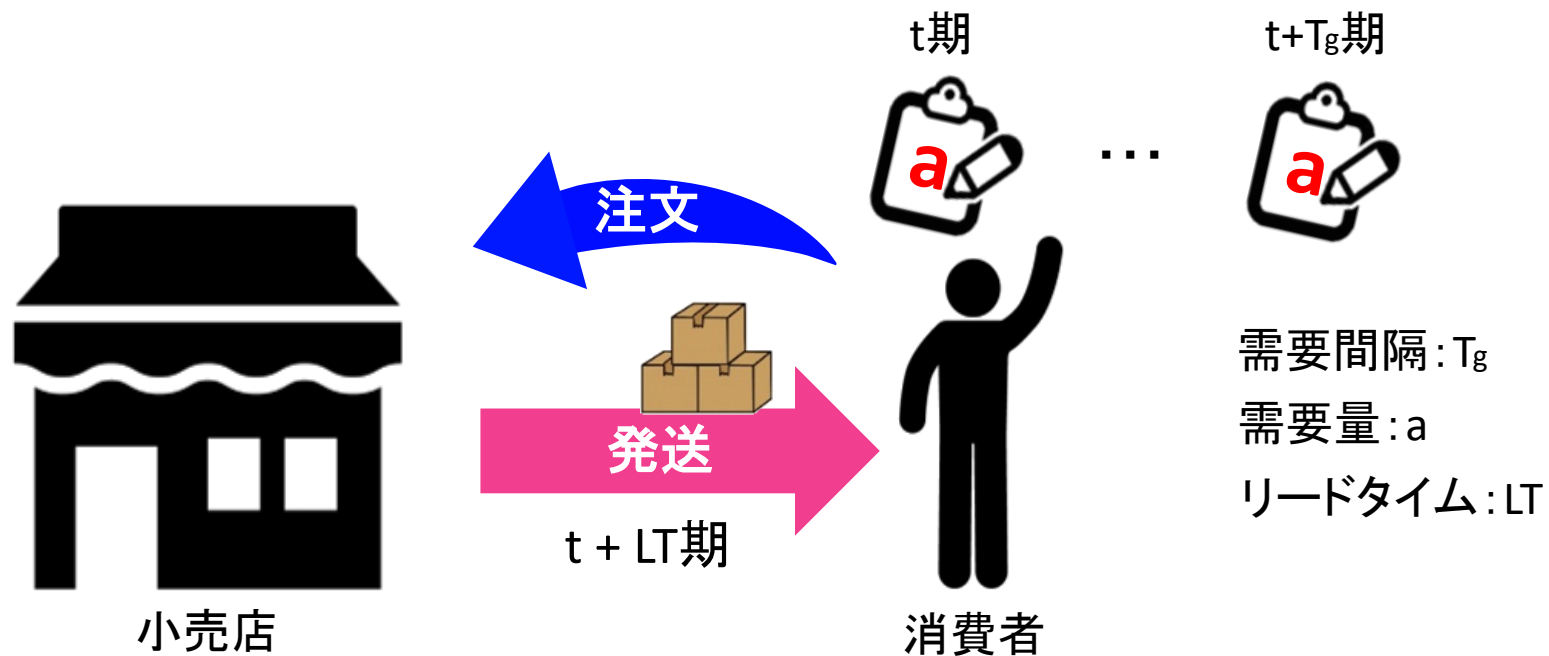
発送(9)=前期未発送(6)+当期発注(3)

次期に前期の未発送分も
合わせて一次卸に発送する

3. シミュレーションモデル

3.3 モデル設定

消費者の需要

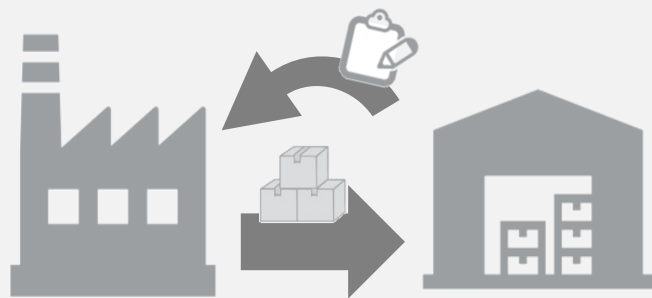


需要間隔・需要量の**不確実性**は一様乱数を用いて組み込む

3. シミュレーションモデル

3.4 輸送トラックの割当方法

☐ モデルの構築



発注方法

消費者需要

発注量

リードタイム

輸送トラックの割当

☐ シナリオ設定

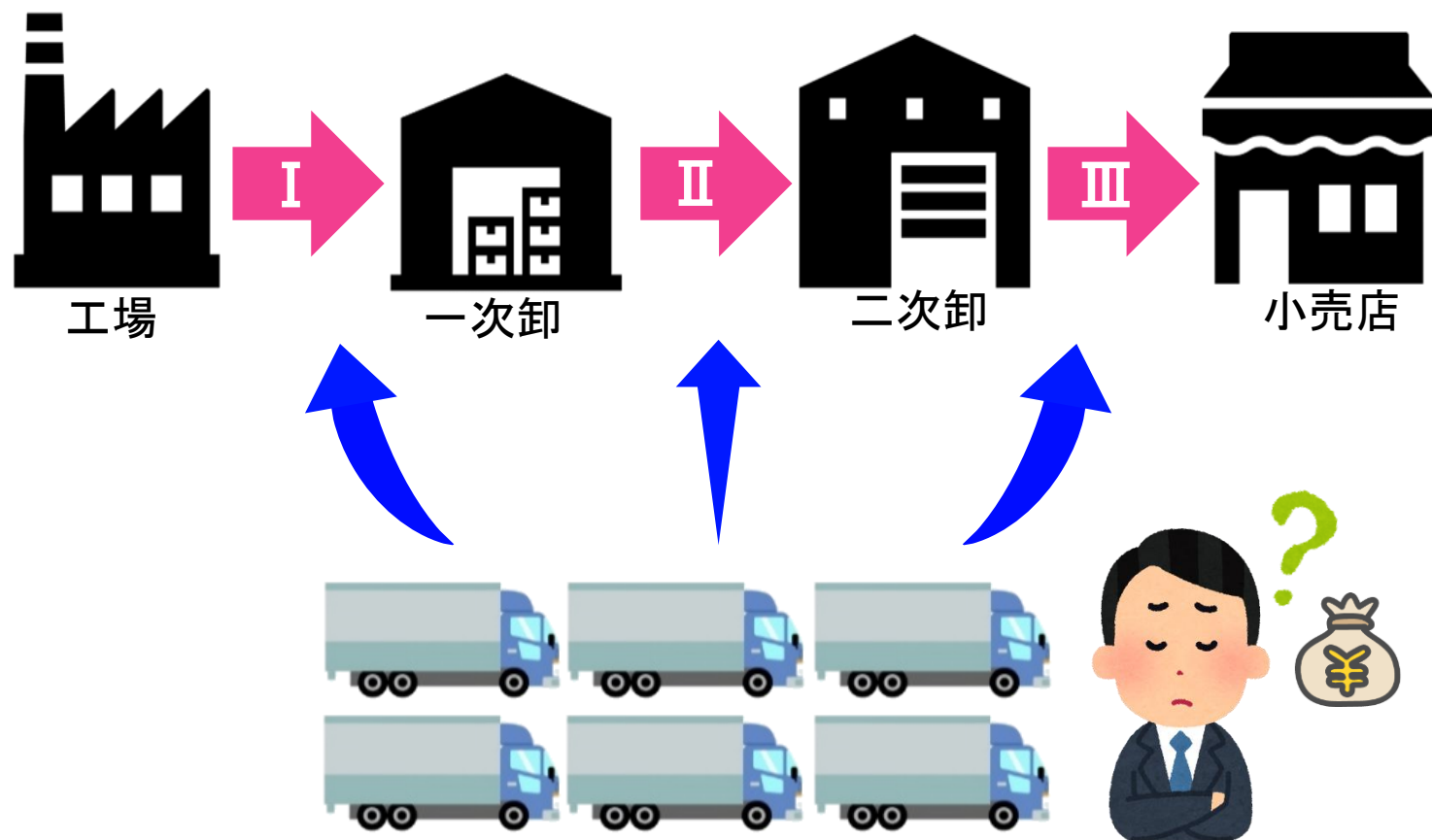
☐ シミュレーション

3. シミュレーションモデル

3.4 輸送トラックの割当方法

トラックの割当

サプライチェーン全体で利用できるトラック台数に限りがあると想定し、各区間にトラックをどのように割り当てるのが費用削減につながるかを検討

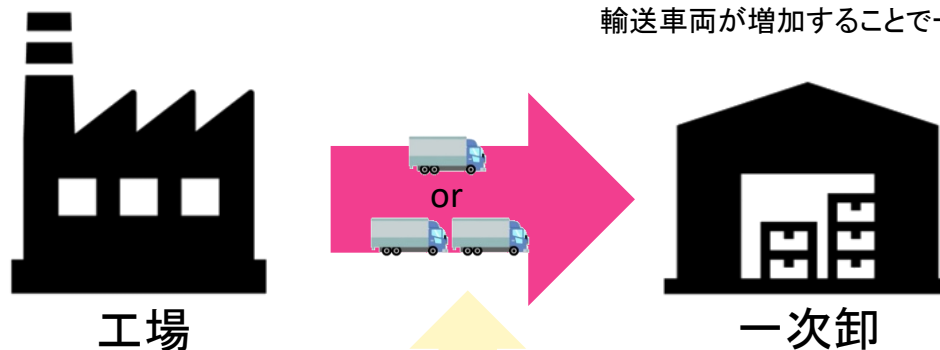


3. シミュレーションモデル

3.4 輸送トラックの割当方法

例えば...

※ここでの発注量は一度に発注可能な商品数の最大値を表しており、
輸送車両が増加することで一度に発注できる商品数が増加する



トラックが1台の場合



リードタイム : 20
or
発注量※ : 30

トラックが2台の場合



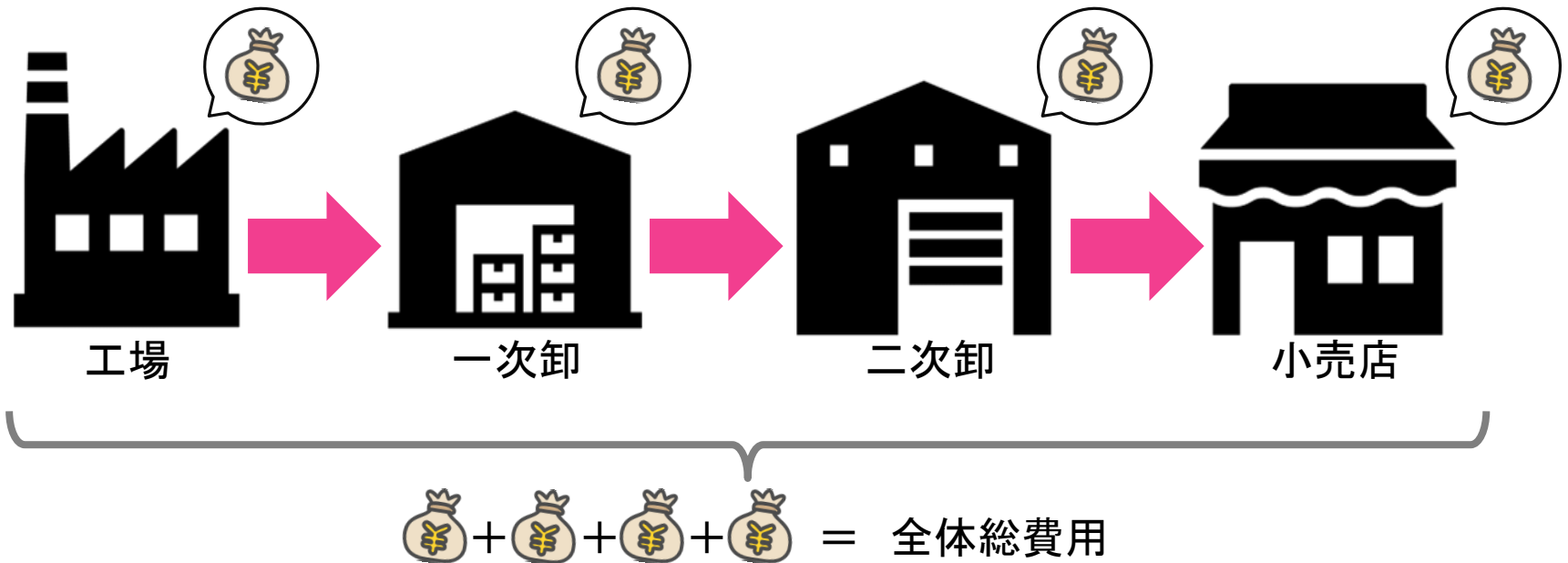
リードタイム : 10
or
発注量※ : 60

リードタイムや発注量を変更することでトラックの割当変更効果を分析

3. シミュレーションモデル

3.5 評価方法

$$\text{総費用} = \underbrace{\text{在庫保管費}}_{\text{在庫量} \times \text{保管費}} + \underbrace{\text{品切費}}_{\text{品切量} \times \text{品切費}}$$

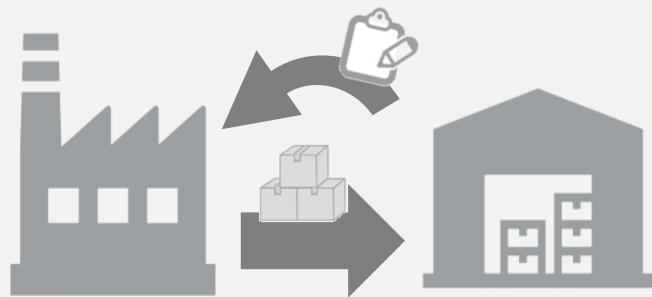


1000期を想定したシミュレーションを行い、全体総費用を比較

3. シミュレーションモデル

3.6 シナリオ設定

☐ モデルの構築



発注方法

消費者需要

発注量

リードタイム

輸送トラックの割当

☒ シナリオ設定

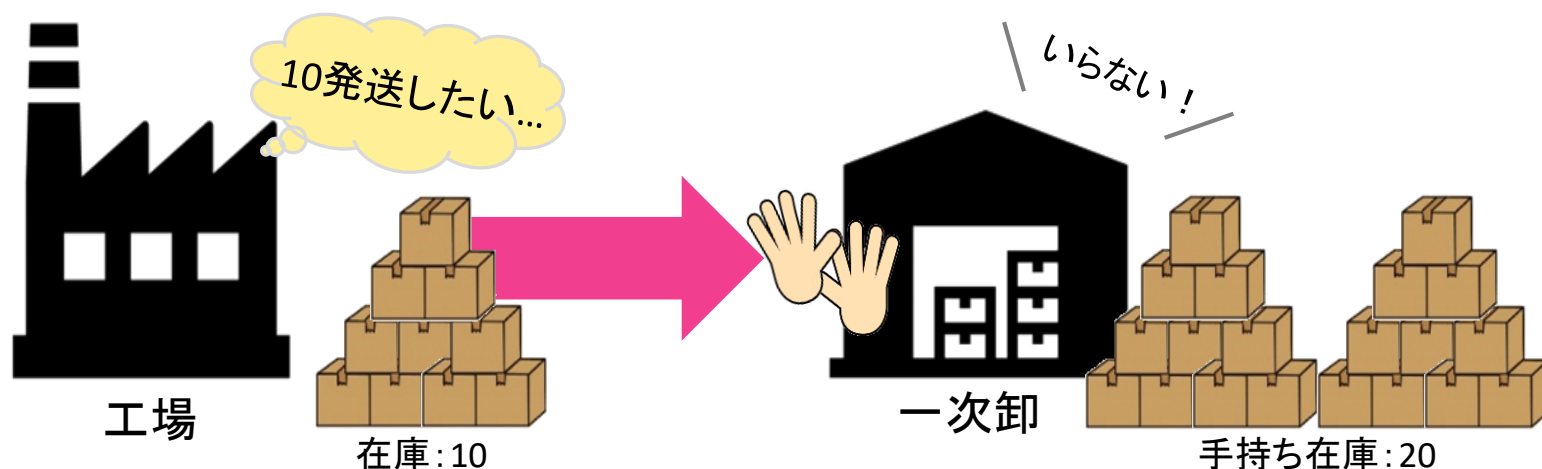
☐ シミュレーション

3. シミュレーションモデル

3.6 シナリオ設定

バッファ : 各エージェントが保有可能な在庫量の上限

ex) 一次卸バッファ: 20

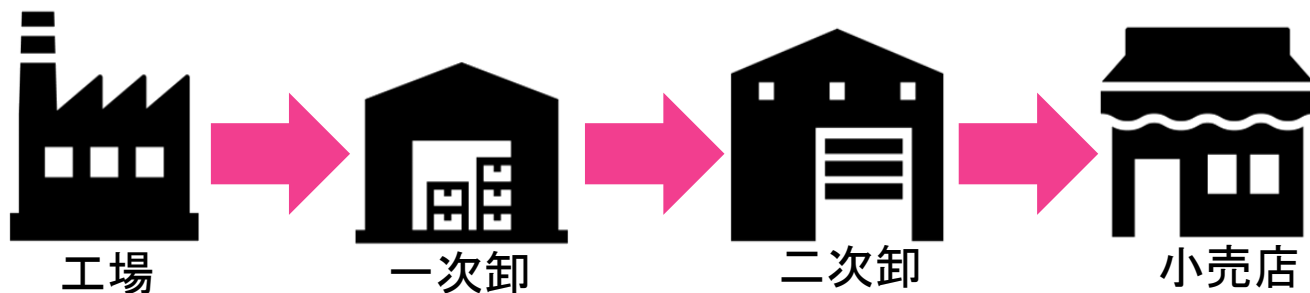


一次卸の手持ち在庫がバッファ上限に達している場合、工場は一次卸に商品を発送できない

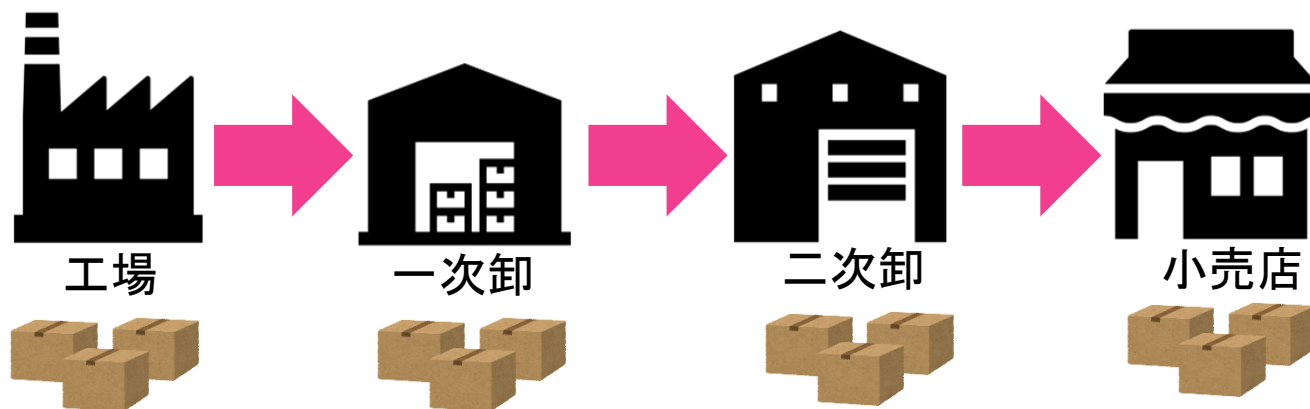
3. シミュレーションモデル

3.6 シナリオ設定

□ バッファ制約なし



□ バッファ制約あり

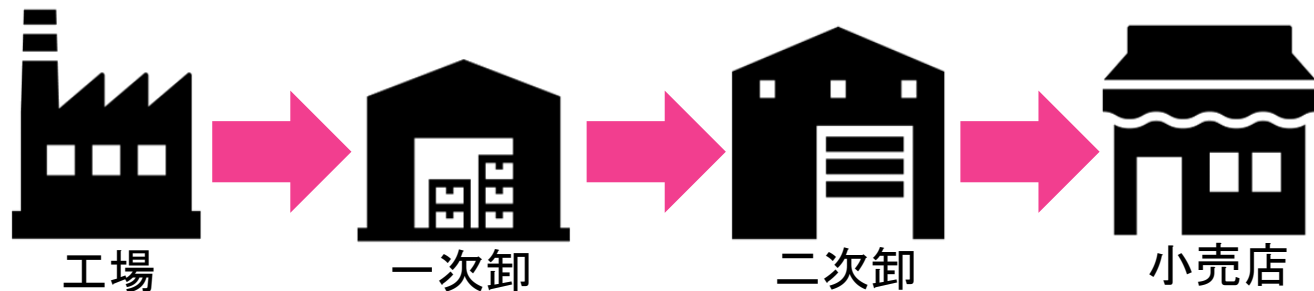


本研究ではバッファ制約の有無を変更した2つのシナリオを用いる

3. シミュレーションモデル

3.6 シナリオ設定

□ バッファ制約なし



初期在庫量	60		60		60		30
リードタイム	7						
発注点	40						

パターンA: すべての発注量(生産量)が53で一定

パターンB: 平均を53とし、上流(工場側)ほど大きくする

パターンA	生産量: 53		発注量: 53		発注量: 53		発注量: 53
パターンB	生産量: 59		発注量: 55		発注量: 51		発注量: 47

発注量(または生産量)を変更してシミュレーションを行う

3. シミュレーションモデル

3.6 シナリオ設定

※各区間を1台のトラックを用いて輸送を行った場合のリードタイム

□ バッファ制約あり

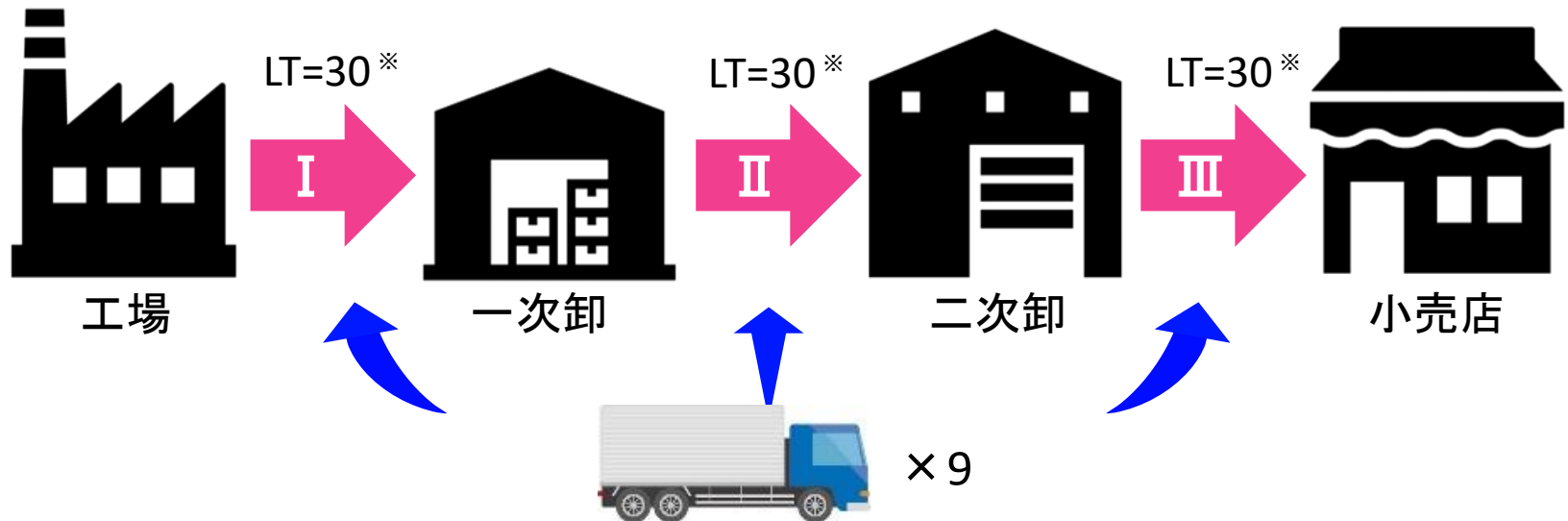


表. バッファ制約がある場合のリードタイム

	トラック配置数		リードタイム
	[I , II , III]	[I , II , III]	
パターンA	[3 , 3 , 3]	[10 , 10 , 10]	
パターンB	[5 , 2 , 2]	[6 , 15 , 15]	
パターンC	[2 , 5 , 2]	[15 , 6 , 15]	
パターンD	[2 , 2 , 5]	[15 , 15 , 6]	

バッファ上限 : 10, 15, 20, 25

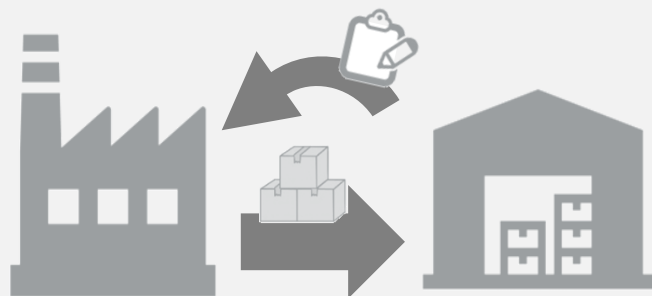


異なるバッファ制約がある場合において
各区間のリードタイムを変更することの効果进行分析する

4. シミュレーション結果

4.1 シミュレーション条件

☐ モデルの構築



発注方法

消費者需要

発注量

リードタイム

輸送トラックの割当

☐ シナリオ設定

☒ シミュレーション

4. シミュレーション結果

4.1 シミュレーション条件

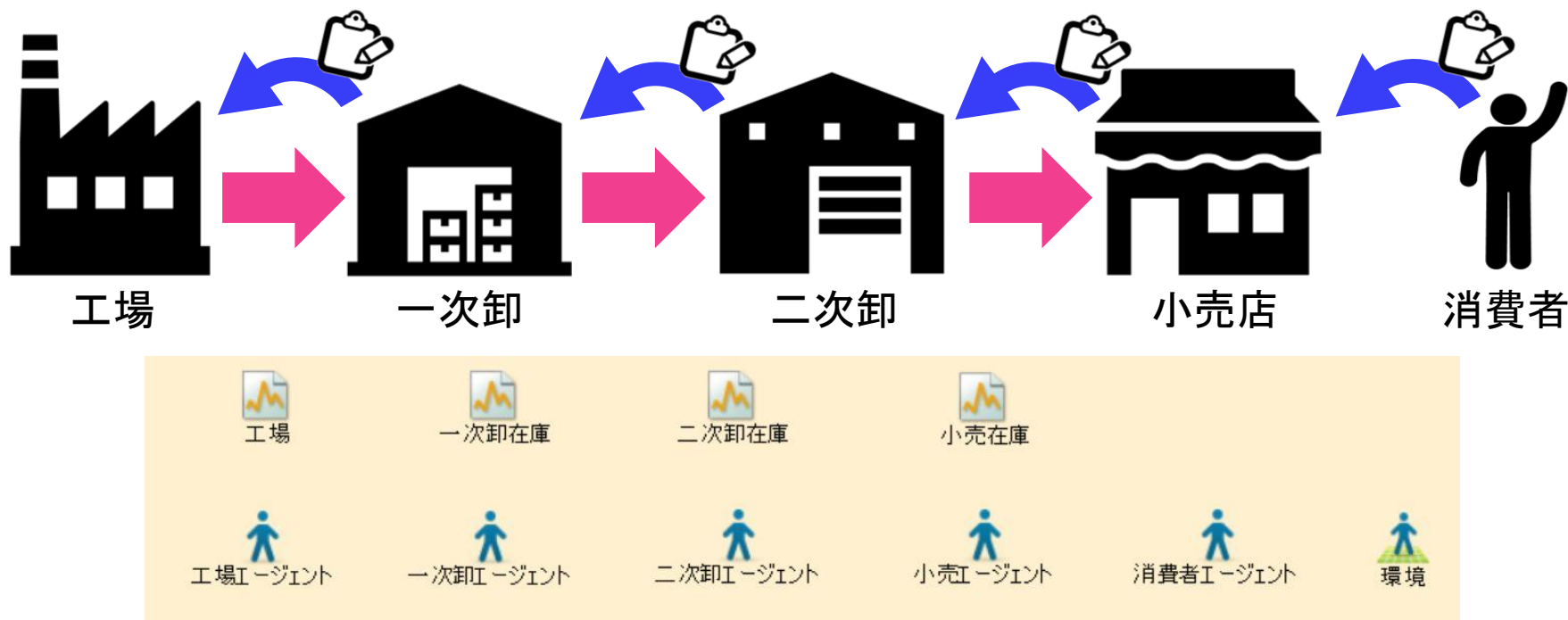


図. シミュレーション画面

消費者

需要間隔 $T_g : [1, 10]$ の範囲でランダムに決定

需要量 $a : [1, 20]$ の範囲でランダムに決定

各シナリオにおいて1000期を想定したシミュレーションを行った

4. シミュレーション結果

4.2 バッファ制約なしの場合

□ パターンA: 発注量一定の結果

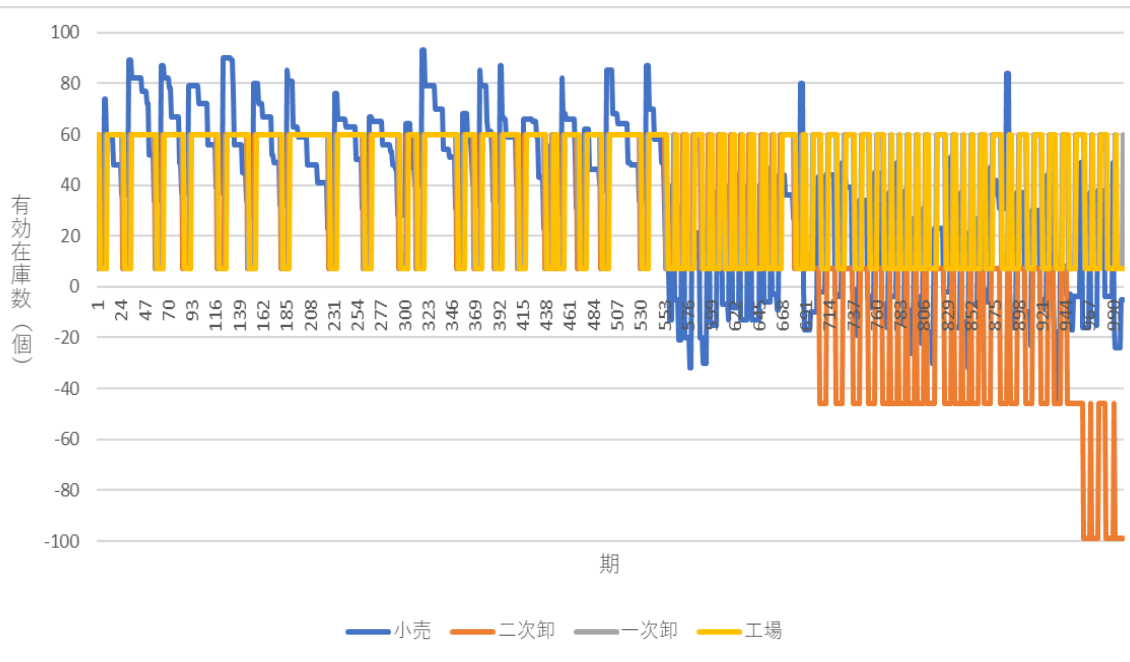
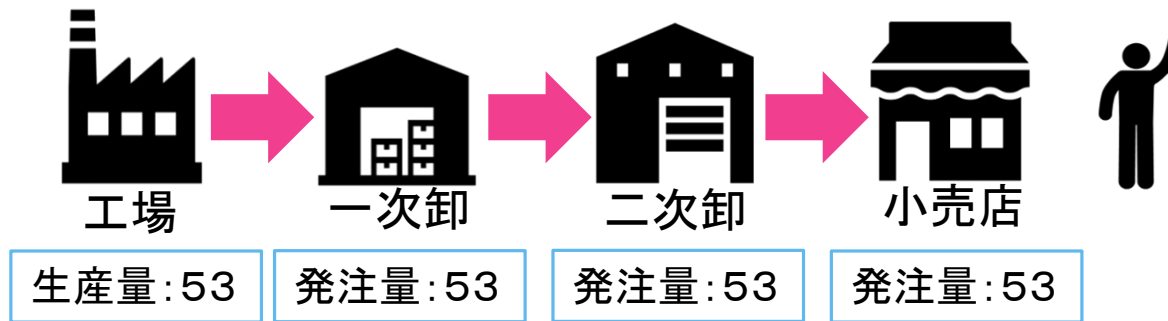


表: 発注量一定の時の費用

	一期一個あたり	数	費用
在庫費	10	155,157	1,551,570
品切費	100	24,269	2,426,900
計			3,978,470

図: 各エージェントの有効在庫数

4. シミュレーション結果

4.2 バッファ制約なしの場合

□ パターンB: 発注量を変えた結果

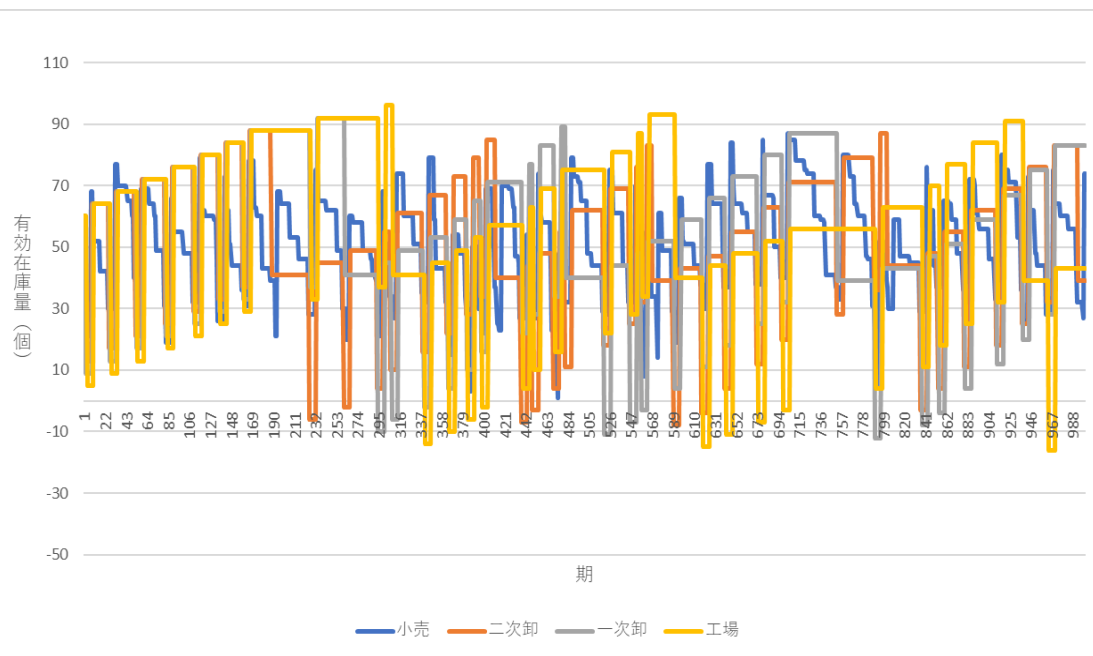
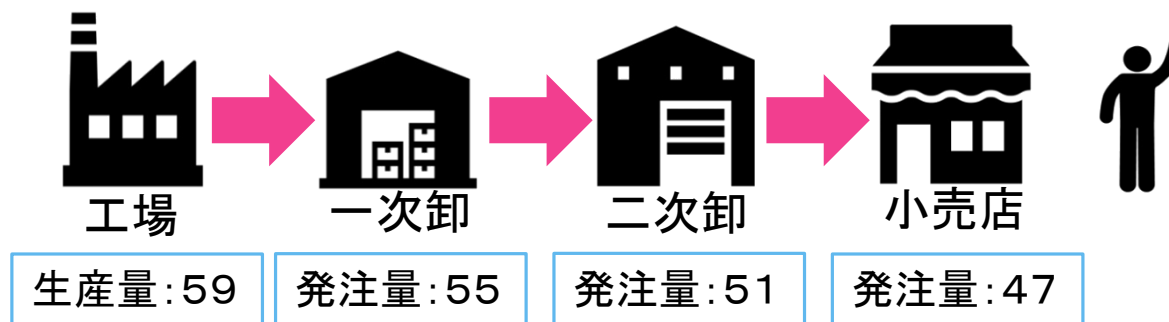


図: 各エージェントの有効在庫数

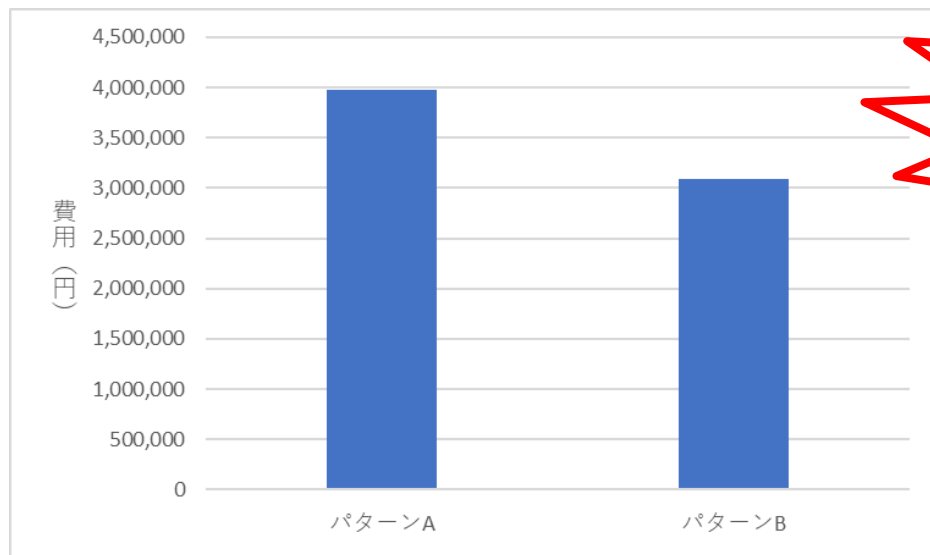
表: 発注量を変えたときの費用

	一期一個あたり	数	費用
在庫費	10	218,697	2,186,970
品切費	100	9,006	900,600
計			3,087,570

上流に行くほど発注量が多くなることから、**鞭効果(ブルウィップ効果)**が発生することが確認できた

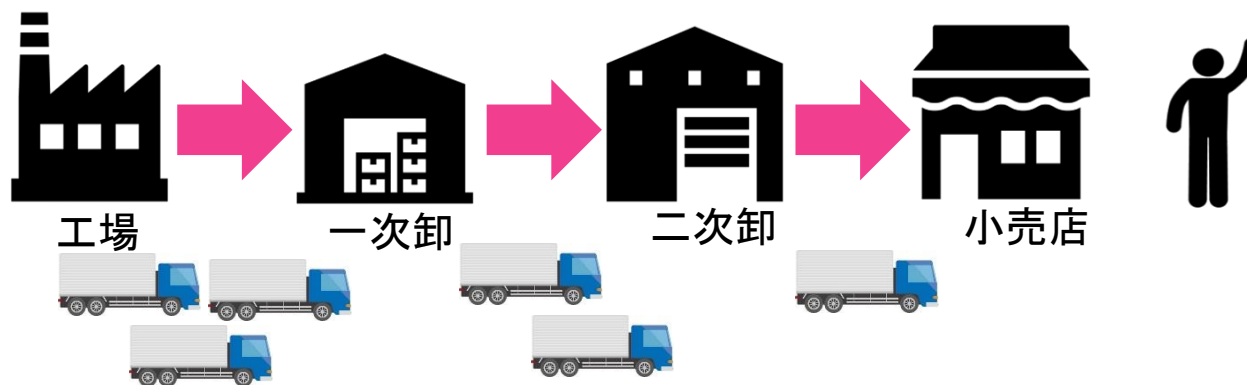
4. シミュレーション結果

4.2 バッファ制約なしの場合



22%の
費用削減！

図：発注量の違いによる費用の比較



上流に輸送トラックを多く割り当てることで総費用を削減できる

4. シミュレーション結果

4.3 バッファ制約ありの場合

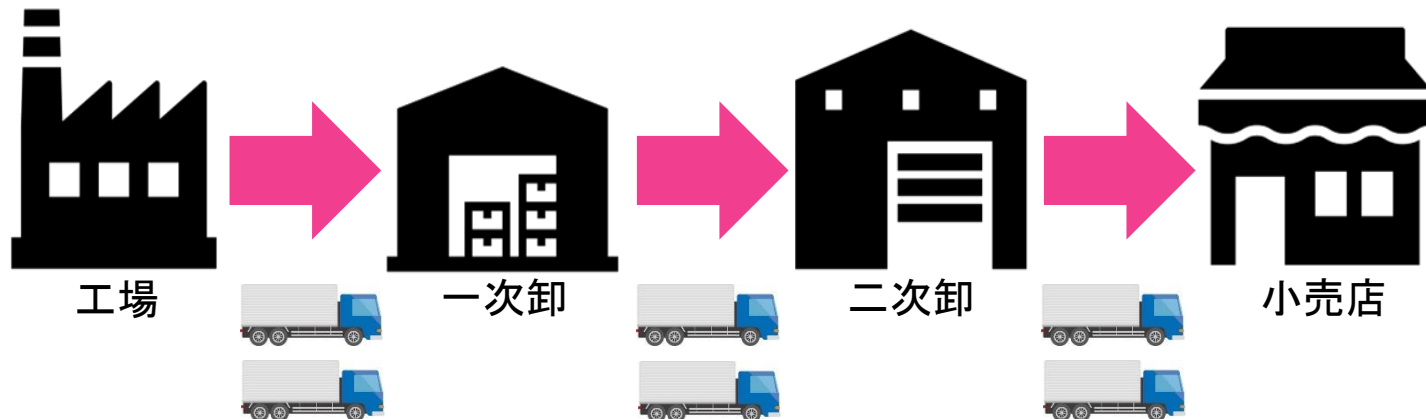
表. 総費用[円]

	補充点			
	10	15	20	25
パターンA	4,589,900	434,550	3,288,270	27,553,100
パターンB	10,528,030	3,094,541	177,595,000	201,904,850
パターンC	6,486,430	1,587,501	152,836,100	171,453,350
パターンD	6,486,030	1,262,916	54,434,300	47,115,300

保管費:10円/個・期, 品切費:100円/個・期

トラック割当

	I	II	III
A	[3, 3, 3]		
B	[5, 2, 2]		
C	[2, 5, 2]		
D	[2, 2, 5]		



補充点の大きさにかかわらず各区間に均等に
輸送トラックを割り当てることで総費用を削減できる

4. シミュレーション結果

4.3 バッファ制約ありの場合

一方で...

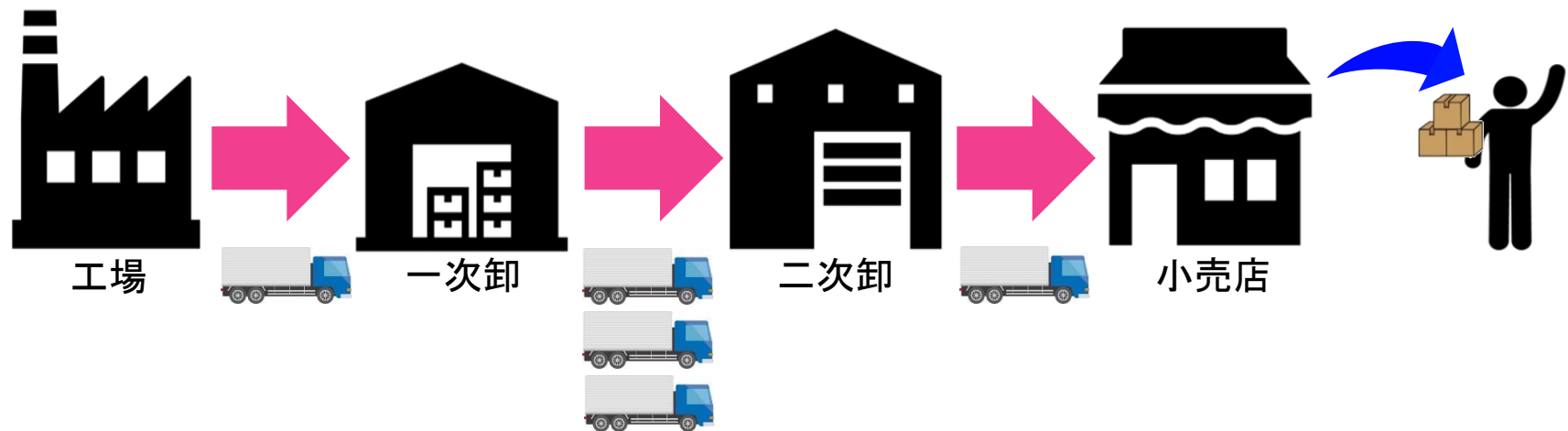
表. 機会損失回数^{*}[回]

	補充点			
	10	15	20	25
パターンA	190	191	195	180
パターンB	179	181	180	179
パターンC	178	178	179	178
パターンD	179	181	180	179

※機会損失回数: 消費者が注文した時点で小売店に在庫がなく、
小売店は利益を得る機会を逃した回数

トラック割当

	I	II	III
			
A	[3, 3, 3]		
B	[5, 2, 2]		
C	[2, 5, 2]		
D	[2, 2, 5]		



中央の区間に輸送トラックを多く割り当てることで機会損失が減少する

5. まとめ

目的

マルチエージェントシステムを用いて多段階サプライチェーンモデルを構築し、各区間における輸送トラックの割当を変更する効果について分析する

➤ 発注点方式を用いた多段階サプライチェーンモデルを構築

➤ 発注量・リードタイムを変更することでトラック割当変更効果を分析

□ バッファ制約なしの場合

▶ 上流区間にトラックを多く割り当てることで総費用を削減可能

□ バッファ制約ありの場合

▶ 各区間均等にトラックを割り当てることで総費用を削減可能

▶ 中央の区間にトラックを多く割り当てることで機会損失が減少



今後の展望

トラックの積載容量の違いなど、さらに異なる条件下においてシミュレーション実験を行い、輸送トラックの最適割当を分析

謝辞



本研究を行うにあたり、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嶋田佳明様に心より御礼申し上げます。