

産業システム工学実験 テーマD

実験の手引き

(第6版 平成20年度)

生産物流システムの調査と解析

実験概要

生産、物流などのシステムを対象に解析を行うために必要な実地調査データの整理を体験する。また、整理されたデータから、システムの評価項目について、実測値を算出し、待ち行列の理論値と比較し、その差異について考察する。さらに、システムの改善を検討し、待ち行列理論とシミュレーション解析を活用し、定性的、定量的な効果について考察したレポートを作成する。

第1回 対象システムの理解、待ち行列理論の理解、実地調査データの整理

第2回 システム評価値の算出、
理論算出結果（理論値）と実地調査結果（実測値）の比較

第3回 簡易シミュレーションの体験、対象システムの改善案の検討と考察

参照 Web サイト <http://www.hi-higuchi.com>

参考書 「離散系のシステムモデリングとシミュレーション解析」三恵社（2007）

平成20年11月 6日

国立大学法人福島大学
理工学群共生システム理工学類
准教授 樋口 良之

1. 実験目的

- (1) 生産、物流などのシステム解析に必要なシステムの観察方法と実地調査記録の整理方法を修得する。
- (2) 待ち行列理論を適用し、システムの評価項目を算定できるようになる。
- (3) 理論値と実測値の差異について考察できるようになる。
- (4) シミュレーション解析を体験する。
- (5) システムの改善案を立案し、定性的、定量的に考察できるようになる。

2. 実験方法

2. 1 対象システムと待ち行列理論の理解

本実験では、生産、物流などのシステム解析の事例として、産業廃棄物処分場を対象とする。この処分場全体について、資料と写真、実験担当講師あるいはアシスタントから説明を受け、理解を深める。本実験のために、特別に協力、提供いただいたビデオ映像、写真などは、本実験以外での利用を禁止し、本実験の授業以外への持ち出しを禁止する。また、複製などは一切行ってはならない。さらに、これら映像などの資料から導出されること、考察できることなど、すべては、本実験でのみ活用でき、本実験の成果である担当講師宛のレポートにのみ記載できる。

特に、本実験では、廃棄物を積載した運搬車両が到着するゲート部分、処分場内への搬入手続きや退場手続きをするチェッカー部分に着目している。この部分は、極めて単純化したモデリングを行うと、待ち行列理論で検討することも可能である。そこで、付録において解説される待ち行列理論の概要について理解する。同時に、対象システムについて、待ち行列理論でモデリングしながら理解を深める。

図 2.1 は、対象システムを簡易にモデリングしたものの一例である。地域で排出された産業廃棄物は、運搬車両によって処分場へ搬入される。処分場に到着した運搬車両の運転手は、処分場の廃棄物飛散防止ネットのゲートを開け、搬入した廃棄物の検収を受けるために、チェッカー部分へ進入する。ゲートへの進入の際に、飛散防止ネットのゲートが開いていた場合には、開放の手間は当然、省略される。チェッカーへ到着した際には、まず、後方に待ちの運搬車両がないかを確認し、いない場合には、飛散防止ネットを閉じる。

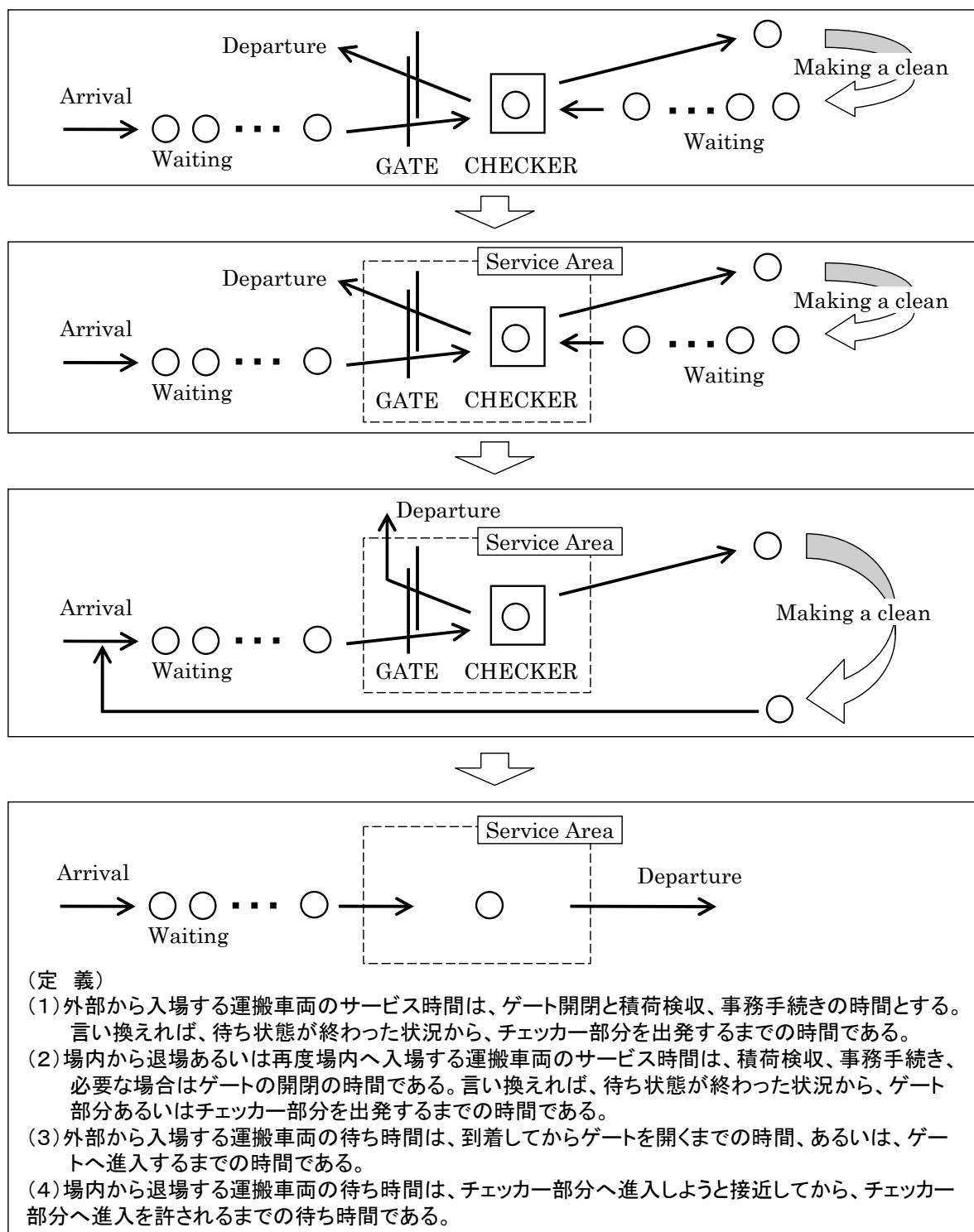


図 2.1 対象システムのモデリングの一例

チェッカー部分では、運搬車両の運転手が産業廃棄物管理票（マニフェスト伝票）を処分場の事務担当者へ提示する。事務担当者は、廃棄物を積載した車両重量を計測し、マニフェスト伝票に記載されている内容に誤りがないかを検収する。これらの作業が終了したら、運搬車両は指定された場内処分事業場へ移動し、廃棄物を払出す。

廃棄物を払出した運搬車両は、再び、チェッカー部分へ戻る。チェッカー部分の事務担当者は、車両重量を計測し、払出した廃棄物の重量を算出する。運搬車両の運転手は、処分場が廃棄物を受領したことを証明するマニフェスト伝票を、事務担当者から受取る。その後、廃棄物飛散防止ネットのゲートを開け退場する。ゲートへの進入の際に、飛散防止ネットのゲートが開いていた場合には、開放の手間は当然、省略される。退場にあたり、他にゲートを通しようとする車両がないかを確認し、いない場合には、飛散防止ネットを閉じる。

処分場内では、上述の工程以外の挙動をする車両も存在するが、明らかに産業廃棄物の運搬に関係の無い車両は、本実験では無視する。また、産業廃棄物の運搬をしていると思われる車両であるものの想定外の挙動を示すものについては、実験担当講師、アシスタントに確認を求め、適切に考慮する。

対象システムが有効に運用されているかを評価するために、定性的、定量的な項目を列挙する。列挙した項目を整理して、対象システムを検討するために考慮すべき評価項目を明らかにする。このとき、対象システムに出入りする運搬車両の平均待ち時間、平均滞在時間、平均待ち車両数、平均滞在車両数、チェッカー稼働率は、考慮すべき評価項目に必ず含めるものとする。これらの評価項目については、グループ活動体制が整備された後に、再度、リーダを中心に検討を行うものとする。

2. 2 グループ活動体制の整備

はじめに、リーダ1名と担当サブリーダを決める。実験の進め方については、グループ内で相談し、リーダがとりまとめる。実験を分担して進めることもできるが、必ず、3日間ある実験日のそれぞれの日の最後には、全員が進捗や工夫したことを共有できるミーティングを行う。これにより、分担しなかった部分についての理解を深める。また、次の活動への課題を明確にし、その準備などを確認、周知する。

2. 3 システムの観察と調査記録の整理、実測値の導出

ビデオ記録された実地のゲート部分とチェッカー部分の状況を観察する。

システムの評価項目を検討する。検討した評価項目を定量的に把握するために、どのようにビデオ記録からデータを収集するのかを検討する。着目しているゲート部分とチェッカー部分について、作業測定を行う。特に、次の4項目についてビデオ記録からデータを

収集する。

- (1) 運搬車両に着目した時間研究
- (2) 平均到着率と平均サービス率の導出
- (3) チェッカー部分の稼働分析
- (4) 運搬車両の平均待ち数と平均滞在数の分析

図 2.2 は、調査記録の整理や待ち行列理論により、どのように評価項目が導出されるのかを示した一例である。

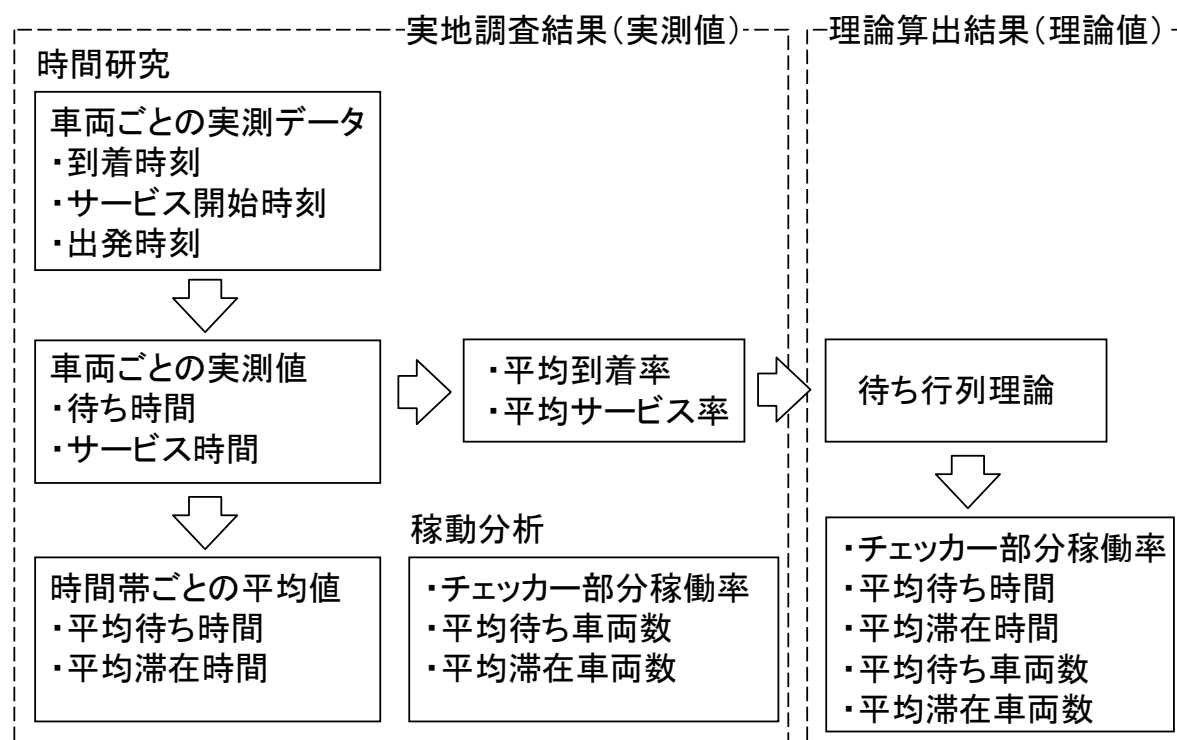


図 2.2 評価項目の導出過程の一例

(1) 運搬車両に着目した時間研究

運搬車両に着目した時間研究を行うために、ストップウォッチ法を用いて、一台一台の運搬車両の挙動を観察する。特に、ゲートの開閉やチェッカーでの手続きなどのサービスが、どのような時点で始まり、終了するかといった状況について、グループ内で共通の認識を持ち、定義しておくことで、観察作業を分担した際も、誰もが正しい共通の観測を行うことができることに、配慮すべきである。また、特異な状況が生じた場合には、グループ全員が集合して、その特異事例を判定し、誰もが正しい共通の観測を行えるように注意したい。

本実験の事例であるシステムについて1日の稼働時間（6～7時間）を通して平均値で評価した場合、特に、混雑していない。例えば、稼働開始時、昼休みころの時間帯では、目に見えて混雑が見られない。しかし、時間帯によっては、運搬車両の待ちが生じ、比較的に運用が厳しいこともある。システムの評価を行うにあたっては、時間研究により、市運搬車両の到着時間間隔が小さい時間帯、運搬車両の待ちが生じていそうな時間帯を決めて、その時間帯に限定した解析が必要になる。例えば、時間研究の結果から 10:30-11:30 の1時間と 13:30-16:00 の2時間30分の3時間30分の間がシステム運用の比較的厳しい混雑した時間であるとして、以下の導出と分析を行うべきである。

(2) 平均到着率と平均サービス率の導出

平均到着率と平均サービス率は、付録において解説されている待ち行列理論の基礎を参照して導出する。

このとき、平均到着率の導出に必要な任意の時間と到着運搬車両の数は、解析で考慮する時間帯の値を使用する。すなわち、前段落の例で言えば、任意の時間とは 10:30-11:30 の1時間と 13:30-16:00 の2時間30分の合計である3時間30分となる。また、到着運搬車両の数は、10:30-11:30 と 13:30-16:00 の間に到着した車両数である。

同様に、サービス率の導出に用いる平均サービス時間は、解析で考慮する時間帯にサービスを受けた全運搬車両の値を用いる。

(3) チェッカー部分の稼働分析

付録において解説されているワークサンプリング法に基づき、チェッカーの平均稼働率を求める。

(4) 運搬車両の平均待ち数と平均滞在数の分析

付録において解説されているワークサンプリング法に基づき、システム内の運搬車両について平均待ち車両数、平均滞在数を求める。

これら4項目のデータ収集にあたっては、挙動時刻のデータを収集し記入する調査票(記録簿)が必要となる。調査票サンプルを、参照 Web サイト <http://www.hi-higuchi.com> の産業システム工学実験のページに、電子ファイル worksheet_**.xls (MS-EXCEL 形式) とし

てダウンロードできる。参考にして、よりより調査票を確立してもらいたい。確立した調査票（記録簿）に収集したデータを記入したものは、実験レポートに付録として添付する。また、データの収集にあたっては、ストップウォッチと計数器を貸与できる。

2. 4 待ち行列理論による評価項目の算出

付録において解説されている待ち行列理論の基礎を参照して、運搬車両の平均待ち時間、平均滞在時間、平均待ち車両数、平均滞在車両数などを算出する。このとき、待ち行列理論のどの公式を選定するかをよく検討し、完全に一致するものがない場合、仮説を立てたうえで適切な公式を採用する。あるいは、待ち行列理論の公式の導出について学習し、より合理的な式を導出するなど工夫をする。待ち行列理論の公式の導出については、本実験の参考書である「離散系のシステムモデリングとシミュレーション解析」三恵社（2007）の第3章「待ち行列理論によるシステム解析」を参照されたい。

なお、図 2.2 は、本実験でのビデオ記録に基づくデータ整理から得られる評価項目と待ち行列理論から得られるものの導出過程の一例を示したものである。待ち行列理論を適用する場合の入力値となる平均到着率と平均サービス率は、実地調査結果（実測値）の値を用いるものとする。

2. 5 シミュレーション解析の体験

対象システムのシミュレータを使って、シミュレーションを行う。また、解析条件を変化させて、基本的な評価項目がどのような影響を受けるかを調べる。シミュレータは、産業界でのシェアの高いシステムシミュレータ・英国 Lanner Group WITNESS を使用している。シミュレータの利用にあたっては、LAN 環境認証デバイスが必要であるので、実験担当講師、アシスタント、研究実験棟の研究員殿にお願いして、授業時間内に使用する。また、解析条件の変更など、シミュレータの操作については、付録を参照したり、実験担当講師あるいはアシスタントに操作してもらったり、指導を受けたりする。

本実験では、対象システムについて、極めて単純で基本的な待ち行列モデル $M/M/1$ あるいは $M/D/1$ でモデリングしたシミュレーションモデル、実際の対象システムに近いモデリングをしたシミュレーションモデルなど、次の6つを用意した。

(1) simple1.mod

窓口が1つの最も簡易なモデリング、詳細設定画面において、truck の到着間隔と

checker のサイクルタイムを変更することで、M/M/1 のモデルにも、M/D/1 のモデルにもなりえる。

(2) simple2.mod

simple1.mod のモデリングと同じもので、単に、運搬車両が焼却処分場へ行くものと最終処分場へ行くものへ表示上、分けただけである。運搬車両が焼却処分場、最終処分場へそれぞれ振り分けられるが、その確率は等しく 50% である。

(3) simple3.mod

simple1.mod と simple2.mod のモデリングと同じもので、焼却処分場と最終処分場での荷降ろしなどの作業時間を入力することができる。この作業時間の入力、equipment1 と 2 のそれぞれの詳細設定画面においてサイクルタイムを入力できる。しかし、運搬車両は、荷降ろし後に、帰路につくがチェッカーを通過しないために、待ち行列理論としての扱いは、simple1.mod と同じように、truck の到着間隔と checker のサイクルタイムを変更することで、M/M/1 のモデルにも、M/D/1 のモデルにもなりえる。

(4) simple4.mod

simple1.mod から simple3.mod までの流れを引き継ぎ、本実験で提供されているシステムモデリングファイルとしては、最も、現実のシステムの近いものである。窓口は、処分場へ入場する車両も退場する車両も処理する。

(5) case1.mod

simple4.mod を基本に、同じ処理能力のチェッカーを一つ増やしたもの。

(6) case2.mod

simple4.mod を基本に、同じ処理能力のチェッカーを 2 つ増やしたもの。

これら 6 つのシミュレーションモデルについては、参照 Web サイト <http://www.hi-higuchi.com> の産業システム工学実験のページに、電子ファイルとしてダウンロードできるようにしている。

なお、シミュレータの詳細設定画面において、到着時間間隔、ロットサイズ（到着数）、サイクルタイムなどは、任意の分布に従わせる設定を行うことができる。分布については、本実験の参考書である「離散系のシステムモデリングとシミュレーション解析」三恵社（2007）の第 4 章「解析に用いられる確率分布」などを参照されたい。例を次に示す。

- ・到着率 λ が 0.25[台/分]のポアソン分布に従い、単位時間あたりに数台のトラックが到着する。この場合、単位時間は1分となり、次の画面のように入力される。

パーツの詳細設定 - truck

一般 | アトリビュート | 経路 | アクション | レポート | メモ

名前(N): truck

到着
タイプ(P): 能動的

最大到着数(Q): 無限

最初の到着時刻(T): 0.0

シフト(S): 未定義

モデルへ
到着時間間隔(Q): 1.0

ロットサイズ(Q): POISSON (0.25)

発生時アクション(Q) X

退去時アクション(L) X

OK キャンセル ヘルプ

- ・平均 1.5 分の指数分布サービスが提供される。

マシンの詳細設定 - checker

一般 | 段取替え | 故障 | 流体ルール | シフト | アクション | レポート | メモ

名前(N): checker

数量(Q): 3

優先度(P): 最低

種類(T): シングル

入力
数量(Q): 1

From Most

入力時アクション(Q) X

処理
サイクルタイム(Q): NEGEXP(1.5)

レイバールール(L) X

開始時アクション(R) X

終了時アクション(Q) X

出力
数量(Q): 1

To If

出力時アクション(Q) X

出力位置(M): 先頭

OK キャンセル ヘルプ

3. 課題と成績評価

3. 1 成績評価

本実験の単位認定に伴う成績評価は、全実験テーマ（現在4テーマ）の総合評価である。4テーマのうちの一つである本実験テーマの成績は、次の6項目を対象に採点される。

- (1) 受講者ごとの出席状況の評価点
- (2) 受講者ごとの授業中の実験への参画状況の評価点
- (3) 実験グループごとの実験遂行能力の向上の状況の評価点
- (4) レポートの体裁の評価点
- (5) レポートに記述された内容の創造性評価点
- (6) レポートに記述された内容が学術的に優れているかの評価点

なお、レポートには、次の3. 2節に示す課題について回答が記述されるものとする。レポートは、課題の回答記述のみならず、各自が自由に実験の手順、工夫したこと、考察できたことなど体裁を守りながら、4. 3節を参照し自由に記述する。

3. 2 レポート課題

次の課題についての回答をレポートに記述する。ただし、自由選択課題については、必須ではないが、適切な回答であれば評価の対象とする。

(1) 工程分析記号による対象システムの表記（自由選択課題）

工程分析記号を用いて対象システムを表記しなさい。本実験の参照 Web サイト <http://www.hi-higuchi.com> の本実験の解説ページである <http://www.hi-higuchi.com/lecture/jikken/index.htm> の「5. 工程分析記号についての補足資料」を参照されたい。

(2) UMLによる対象システムの表記（自由選択課題）

UML (Unified Modeling Language) を用いて対象システムを表記しなさい。このとき、UMLは次の3つの枠組みで表記するものとする。

- ・クラス図、レポートの読者の理解を深められる場合にはオブジェクト図を併記
- ・シーケンス図、コラボレーション図、アクティビティ図のうちから一つ以上
- ・ユースケース図

(3) 運搬車両の到着時間間隔のモデリング (自由選択課題)

実地調査結果の運搬車両の到着状態を検討し、到着時間間隔がどのような確率分布で近似 (モデリング) できるか考察しなさい。本実験の参考書である「離散系のシステムモデリングとシミュレーション解析」三恵社 (2007) の第4章「解析に用いられる確率分布」を参照されたい。

(4) 理論値と実測値の差異の考察 (必須課題)

待ち行列理論により算出した理論値と調査記録から得られた実測値の差異について考察しなさい。

(5) システムの改善案の立案と考察 (必須課題)

対象システムの評価項目の値をより良くするために、改善策を立案しなさい。これにより、定性的、定量的に、現状からどのように改善されるのかを考察する。このとき、待ち行列理論を応用したり、システムシミュレータを活用したりする。

4. レポートの作成と提出

4. 1 提出

全3回の実験の最終日の翌週木曜日の 12:30 までの間に、指定の場所へ提出する。担当講師に直接渡すことのないように注意しなさい。適切な理由なく提出が遅れた場合には、減点の対象となる。指定の場所は、福島大学金谷川キャンパス S 棟 2階教務支援グループ執務室前のレポートボックス (樋口専用ポスト) である。

提出されたレポートは返却しないので、各自で複写して保存しておくことを推奨する。レポート技術の向上を目的に、特別に添削や指導を希望する受講者は、別途、担当講師へ申し出るものとする。

4. 2 様式

成績評価の中には、体裁が整っていることも評価の対象になっているので、以下のレポートの様式についての指示について、十分に注意を払うようにされたい。

レポートはA4 サイズ縦置きで作成する。A3サイズの用紙へ記述する方が見やすい場

合もあるが、そのような場合には、記述したものを、A4サイズに収まるように折りたたみ、A4サイズのレポートとしてまとめる。ステープラーでとめたときに、見開きできないような状況にならないように注意する。

レポートに表紙はつけない。レポートは左上を1箇所ステープラーでとめる。左側中央を基準に2穴のパンチ穴をつくる。授業では、事務用品の貸し出しは行っていないので、レポートにあたって各自の努力で対応すること。また、レポートの構成枚数が多くなり、ステープラーでレポートをとめられないときには、比較的大型のクリップを用いてもかまわない。

レポートには用紙の右上にページ数を付す。例えば、全5ページのレポートであれば、1/5、2/5、3/5、4/5、5/5といったようにページを付す。また、レポートに表紙を付すことを望んでいないため、1ページ目の最初に提出日、提出先、提出者学籍番号と氏名、レポートに適切なタイトルを名付け記述する。

レポートの記述にあたっては、上下左右の余白を25ミリ程度とり、大きすぎず、小さすぎず、配慮する。また、文字の大きさは、12ポイントを基準とする。行間は、詰めすぎず、広げすぎない。本手引きを目安に作成する。例えば、最初のページは、次のようになる。

— — —最初のページのイメージ例 ここから— — —

1 / 5
平成18年10月10日
産業システム工学実験Dご担当 准教授 樋口 良之 様
200610A2 産業 太郎
生産物流システムの調査と解析
1. はじめに

— — —最初のページのイメージ例 ここまで— — —

その他、レポート作成者の判断で自由に記述してかまわないが、章、節、項などの区分をしたポイントシステムによって記述する。区分ごとに適切なタイトルを付して記述するなど、理解されやすい表記につとめる。「ビジネス社会に有用な人材となる訓練を兼ねた授業とする」との観点から、ビジネス文書、報告書などを念頭に、レポートを作成する努力を求める。話し言葉ではなく、書き言葉で記述する。

4. 3 内 容

原則として、次の必要事項の内容を含み、整理されたビジネス文書、報告書になっていれば、自由に記述してかまわない。

(必要事項)

- ・実験方法に示した2. 1から2. 5までの実施結果と考察
- ・課題の回答
- ・実験目的の達成度（自己採点）
- ・本実験にかかわる提案など

4. 4 その他

(1) レポートをまとめるにあたり、できるだけ図表を多用する。

(2) レポートが作成できたら、必ず精査し、誤字脱字の修正、ロジカルシンキングといった視点に立って、加筆修正を繰り返し、本当に満足のいくレポートに仕上げる。エビデンスとして、作成したレポートに自ら添削したものを添付して、最終レポートとして提出することが望ましい。

(3) 本文中に引用、参考にした書籍、論文、記事などを「文献」として、レポートの最後に記載する。

例：

- (1) 島田，経営情報システム 改訂版，日科技連，pp273-282，2001.
- (2) 一重・樋口・品川，QR コードを用いた感染性廃棄物リアルタイム管理システムの開発，日本機械学会交通・物流部門大会 TRANSLOG2007，講演論文集 pp175-179，2007.

5. 実験での注意事項

(1) 時間と時刻を明確に使い分ける。時間は幅をもった概念である。時刻は、幅を持たない概念である。例えば、到着時間と到着時刻の意味を考えてほしい。

(2) 仮定のもとに作業を進める場合には、ドキュメントを残す。後で満足な結果が得られないとき、ドキュメントを参照して考察できるようにする。