

# データベースのトランザクション同時実行を体感できる 学習環境の運用評価

松本 圭太郎<sup>1</sup> 岡田 信一郎<sup>2</sup>

**概要:** IT 技術の進歩により、幅広い分野で膨大なデータが扱われる中で、その情報を扱うためのデータベース技術を学習することは重要である。筆者らはデータベースに関する学習項目の一つであるトランザクションを学習するための「トランザクション実習システム」を開発し、本学の授業の中で運用してきた。このシステムでは、簡単な操作でトランザクションの動きを確認することができる。しかし、学習者は複数のトランザクションを手作業でステップ実行する必要があるため、トランザクションの同時実行における異状、すなわち単一のトランザクションの視点では、処理中のデータがいつの間にか他のトランザクションによって変更されているという状態を感覚的にとらえることが難しいのではないかと筆者らは考えた。そこで、実際に同時実行される複数のトランザクションの中で、注目したトランザクションが、自動的に実行される他のトランザクションの影響を受ける様子を体感できる学習環境を開発した。そして、2022 年度の「データベース論」の授業でこのシステムを運用したため、その結果を報告する。

## Evaluation of a Learning Environment to Experience Transaction Concurrency in Databases

MATSUMOTO KEITARO<sup>1</sup> OKADA SHIN-ICHIROU<sup>2</sup>

### 1. はじめに

IT 技術の進歩により、幅広い分野で膨大なデータが扱われる中で、その情報を扱うためのデータベース技術を学習することの重要性は高いといえる。本研究室では、データベースに関する学習項目の一つであるトランザクションを学習するための「トランザクション実習システム」[1]を開発し、本学情報工学科の「データベース論」の講義を受講している学生を対象に課題として提示し、運用と評価を行ってきた。データベース教育に関する関連研究では、「情報システムにおけるデータベースの仕組みを学ぶ共通教科「情報」の授業の開発と評価」[2]があるが、筆者らのシステムは情報工学を専門とする大学生を対象としている。また、プロセスの同時実行制御を学修するための手法に関す

る関連研究では、「情報工学コースのための Linux シェルによるコンカレント・プログラミング入門」[3]があるが、筆者らはデータベースに関する学習項目の一つであるトランザクションの並列処理に注目して、GUI を介してアルゴリズムを理解させることを目的としている。トランザクション実習システムの導入以前は、トランザクションに関する実習を行う際、学習者は実用データベースマネジメントシステムへ接続し、SQL などの命令を直接入力する必要があった。そこで本システムでは、ボタン操作によってトランザクションの基礎概念の理解を手軽に行うことを目的に開発した。しかし、学習者は複数のトランザクションをステップ実行する必要があるため、トランザクションの同時実行における異状、すなわち単一のトランザクションの視点では、処理中のデータがいつの間にか他のトランザクションによって変更されているという状態を感覚的にとらえることが難しいのではないかと筆者らは考えた。そこで、実際に同時実行される複数のトランザクションの中で、注目したトランザクションが、自動的に実行される他のト

<sup>1</sup> 茨城大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

<sup>2</sup> 茨城大学工学部  
Faculty of Engineering, Ibaraki University



図 1 トランザクション実習システムの画面例

ランザクションの影響を受ける様子を体感する学習環境を提案し、試作した [4]。今回は、提案した学習環境に変更を加えた本システムを 2022 年度の「データベース論」の授業で運用したため、学習履歴とアンケートをもとに評価を行った結果を報告する。

## 2. トランザクション実習システム

### 2.1 システム概要

トランザクション実習システムは、データベース初学者を対象とし、簡単な操作でトランザクションの基礎概念の理解を手軽に行えるシステムである。データベースに対する命令や操作を覚えることが目的ではないため、命令の直接入力ではなく、ボタン操作によって実習を行う。本システムは、JavaFX アプリケーションとして作成されており、jar ファイルを実行するだけでシステムを扱うことができる。アプリケーションの実行画面例を図 1 に示す。また、本システムは Java で記述されたオープンソースの関係データベース管理システムである HSQLDB[5] を用いてデータ操作、トランザクション処理を行っている。学習者がボタンを押すと、システムはそのボタンに対応する SQL を HSQLDB に渡し、HSQLDB に実行させる。その後、操作の結果を本システムが画面上に出力する。

データベースにおけるトランザクションには様々な機能、仕組みがあるが、本学情報工学科で開講されている「データベース論」の授業において練習問題などとして取り扱っていた内容であることから、三つの課題を本システムは取りあげている。その三つの課題は「ロールバック」、「アイソレーションレベル」、「デッドロック」である。課題はタブを選択すると切り替わり、それぞれのタブに対応した課題を実習出来る。

### 2.2 ロールバック

この課題では、「ロールバック」について実習ができる。ロールバックとは、データ更新が失敗したときに、データをトランザクション開始直前の状態に戻してから、トランザクションを終了する機能のことである。

### 2.3 アイソレーションレベル

この課題では、「アイソレーションレベル」について実習ができる。アイソレーションレベルとは、トランザクションの同時実行制御において、データが他のトランザクションから与えられる影響の程度を示すものである。

### 2.4 デッドロック

この課題では、「デッドロック」について実習ができる。デッドロックとは、複数のプロセスが他プロセスの処理待ちとなり、膠着状態になることをいう。本システムのデッドロックとは、各トランザクションがテーブルに対してそれぞれロックをかけ、お互いにロックの解除を待ちトランザクションの処理を進行できなくなる状態を指す。

### 2.5 既存システムの課題

本システムは、本学情報工学科の「データベース論」の講義を受講している学生を対象に課題として提示し、運用と評価を行ってきた。運用後にはシステムを利用した学生にアンケートを取り、システムの機能向上に役立てている。2020 年度、2021 年度のアンケートでは、設問「できれば質問 7. の回答を選んだ理由を記述してください」(質問 7: このシステムを使った学習で悪いと思ったところはどこですか? (※複数回答可)) に対して、「勝手に進んでいくのでどういう状況なのかが最初はわかりにくかった」「手順に沿って、やらされている感覚が否めなかったから。」「ランダムな動作に対して何か起こったかを解答するか、指定された状態が発生するように動作させるかのほうが理解は深まるといったため。」「アイソレーションレベルはよくわからなかった」といった意見が寄せられた。

本システムの実習項目「アイソレーションレベル」では、学習者は複数のトランザクションを手作業でステップ実行するため、トランザクションの同時実行において及ぼす影響を各トランザクションごとに個別にとらえ、理解することが難しいのではないかと筆者らは考えた。

アイソレーションレベルの実習開始時の画面を図 2 に示す。「Transaction1」と「Transaction2」の二つのトランザクションを用いて一つのテーブルに同時にアクセスする。各トランザクションの操作ボタンと問い合わせ結果を表示するテーブル、学習者に指示を出すナビゲートエリア、理解度を確認するための問題を出すためのボタンで画面が構成されている。

アイソレーションレベルと発生し得る異状の対応表を 1 に示す。アイソレーションレベルの実習トピックは計 6 個あり、アイソレーションレベル「READ COMMITTED」と「SERIALIZABLE」において、異状「DIRTY READ」、「NONREPEATABLE READ」、「PHANTOM READ」が引き起こされる操作において、それぞれ異状の発生有無を確認し、学習者はその結果を解答する。

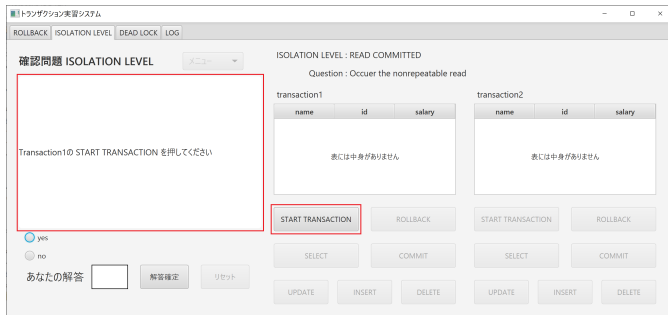


図 2 これまでのアイソレーションレベルの問題画面例

表 1 アイソレーションレベルと異状の対応

	DIRTY READ	NONREPEATABLE READ	PHANTOM READ
READ UNCOMMITTED	発生する	発生する	発生する
READ COMMITTED	発生しない	発生する	発生する
REPEATABLE READ	発生しない	発生しない	発生する
SERIALIZABLE	発生しない	発生しない	発生しない

### 3. トランザクションの同時実行を体感できる学習環境

#### 3.1 目的

本システムの実習は、学習者が行う操作はナビゲートエリアによって指示され、異状を発生させるために不要な操作ボタンは無効化される。学習者は操作に間違いを発生させることなく異状の発生手順を確認できるが、学習者が前提として異状の原因や結果を理解していない場合、Transaction1 において処理中のデータがいつの間にか Transaction2 によって変更されているという状態を感覚的にとらえることが難しいのではないかと筆者らは考えた。そこで、実際に同時実行されるトランザクションの中で、学習者が注目したトランザクションが自動的に実行される他のトランザクションの影響を受ける様子を体感できる学習環境を提案し、開発を行った。

#### 3.2 開発方針

アイソレーションレベルの学習では、2.5 節で示した表 1 のように、アイソレーションレベルと発生し得る異状の対応関係を理解することが重要である。そこで、異状の発生可能性があるかないかを空欄とした表を、学習者が実習を行いながら表を確認しつつ埋めることで理解の手助けとなるよう実習手順を設計した。

また、新しい学習環境では学習者の注目するトランザクションを他のトランザクションと区別する。同時実行される複数のトランザクションの中で、学習者が注目するトランザクションを「ユーザトランザクション」、自動的に実行されるトランザクションを「非ユーザトランザクション」とする。ユーザトランザクションは学習者が操作を行い、非ユーザトランザクションはシステムによって自動的に処理が実行されるように設計した。また、各トランザクションの操作ごとにステップ実行していた処理を、JavaFX

の AnimationTimer クラスを利用することで時間の経過とともに変化するタイムライン上で扱うよう設計した。学習者は、時間の経過中にユーザトランザクションを操作し、非ユーザトランザクションは同時に自動的に実行される。それぞれのトランザクションによって異状の発生する操作が行われた場合に異状が検出され、学習者は画面で確認できる。学習者が非ユーザトランザクションによっていつの間にか処理中のデータが変更される状態を体感できるように、非ユーザトランザクションの操作は初期状態では見えないように設計した。まず、ユーザトランザクションの処理中に異状が発生する様子を学習者が確認する。その後、非ユーザトランザクションの操作履歴を確認可能な状態にして、学習者自身によるユーザトランザクションの操作履歴と照合してどのような操作が異状の過程と結果となるのかを理解させることを目的とした。

#### 3.3 提案からの変更点

筆者らが提案した「データベースのトランザクション同時実行を体感できる学習環境の提案 [4]」では、全ての異状が発生する様子、発生しない様子を実習するために、扱うアイソレーションレベルは「READ UNCOMMITTED」と「SERIALIZABLE」の二種類としていた。しかし、アイソレーションレベルと異状の対応表を理解することを目的として、全ての組み合わせを空欄とした対応表を、学習者が実習を行いながら表を確認しつつ埋めるように実習手順を設計したため、全てのアイソレーションレベルの実習を行うように変更した。アイソレーションレベルと異状の組み合わせをトピックとして扱い、全てのトピックからランダムにアイソレーションレベルと異状が決定され、そのシチュエーションで学習者はユーザトランザクションを操作する。学習者はアイソレーションレベルの設定を確認できるが、どのような異状のシチュエーションが選択されているかは確認できない。その環境下でユーザトランザクションを操作させ、発生した異状がどのような内容であったかを選択問題で解答して理解を促すようにした。

### 4. 学習の流れ

今回開発した学習環境は、従来システムのアイソレーションレベルの学習項目を置き換えるものである。したがって、トランザクション実習システムを起動後、「ISOLATION LEVEL」タブを選択すると、今回実装した学習環境となるように実装されている。最初に表示される画面は図 3 に示す実習メニュー画面である。この画面では、アイソレーションレベルと異状の対応表が表示され、達成状況の確認や実習の開始をすることができる。「実習開始」ボタンを押すと、未完了のトピックからランダムな組み合わせでシチュエーションが設定された実習が開始する。実習を完了すると、トピックに該当する部分の対応表が埋まる。全て

の実習を終えた画面を図 4 に示す。対応表の実習を完了したトピックは異状の発生可能性を示す「○」か「×」が表示され、クリックすることでそのトピックの再実習を行えるボタンになる。

実習を開始すると、図 5 に示すような実習画面に遷移する。ユーザトランザクション、非ユーザトランザクションのタイムラインを視覚的に把握できるようにするため、JavaFX の標準コントロールである ProgressBar を利用して時間の経過を表現した。画面上のそれぞれのトランザクションを示すプログレスバーの側部には各トランザクションの経過時間時点での操作履歴が表示される。画面左部のテーブルにはユーザトランザクションの問い合わせ結果が表示される。画面中央部のテーブルでは、コミット前のデータを含め時間経過中は常に問い合わせ結果を取得してデータベースの状態を表示する。初期状態では、非ユーザトランザクションの操作履歴とデータベースの状態は非表示になっている。

ナビゲートエリアの指示に従い、「START TRANSACTION」ボタンを押すと、図 6 に示すようにプログレスバーのアニメーションが開始される。プログレスバーは 10 秒で最大となり、この時をユーザトランザクションの終了とする。時間の経過中、ユーザトランザクションで問い合わせを行う「SELECT」ボタンが押下可能になり、ユーザトランザクションによる問い合わせを 1 秒ごとに任意のタイミングで 10 回まで実行することができる。問い合わせの結果は画面左部のテーブルに表示され、ユーザトランザクションによる問い合わせ結果のみに注目して対象のデータが変更される状態を確認できる。非ユーザトランザクションの操作はランダムなタイミングで行われ、選択したトピックの異状が発生し得る操作を自動的に実行する。

図 7 に示すようにプログレスバーが最大となった時、ユーザトランザクションと非ユーザトランザクション操作が異状を発生させるような組合せであった場合は、ダイアログで異状の発生を通知するメッセージが表示される。また、アイソレーションレベルが「SERIALIZABLE」で異状が「DIRTY READ」の組合せのように、異状が発生せずに非ユーザトランザクションの操作がブロックされた場合は図 8 に示すダイアログが表示される。この時点で、学習者は注目していたトランザクションにおいて異状が発生したことを確認できたものとして、異状の発生過程と原因を確認する状態に移行する。

異状発生後は非ユーザトランザクションの操作履歴とデータベースの状態が表示されるようになり、データベースの状態と非ユーザトランザクションの操作履歴が確認できるようになる。学習者は、この画面でユーザトランザクションで行った問い合わせ履歴をプログレスバー横に、経過時間に応じて縦方向に配置された「SELECT」ボタンを押下して確認することができる。また、「Replay」ボタン



図 3 ISOLATION LEVEL のトップ画面



図 4 全てのトピックを達成した画面

が有効化し、再生機能を利用することができる。この機能では、非ユーザトランザクションの操作履歴を視認できる状態で、非ユーザトランザクションが行った操作とデータの変化を確認することができる。これにより、異状の発生過程で行われた操作の内容とその影響を時間軸に沿って理解することができる。

学習者は、非ユーザトランザクションの操作履歴から異状の発生過程を確認した後、以下の確認問題の選択肢から一つ選び解答を行う。実習で確認した異状の発生過程について理解しているかを問うことを目的として、選択肢は異状の名称ではなく内容を説明する文章とした。正しい解答を選択すると、図 9 に示すダイアログが表示され、実習で設定されていたアイソレーションレベルと異状の組合せを確認できる。

- 非ユーザトランザクションで末コミットの汚データを問い合わせた
- 複数回の問い合わせの中で非ユーザトランザクションのコミットにより読み込んだ値が変わった
- 複数回の問い合わせの中で非ユーザトランザクションのコミットにより問い合わせたレコードが変わった
- 非ユーザトランザクションの操作がブロックされたため、問い合わせ結果に変化はなかった





図 5 実習の初期画面



図 6 トランザクション経過中の画面

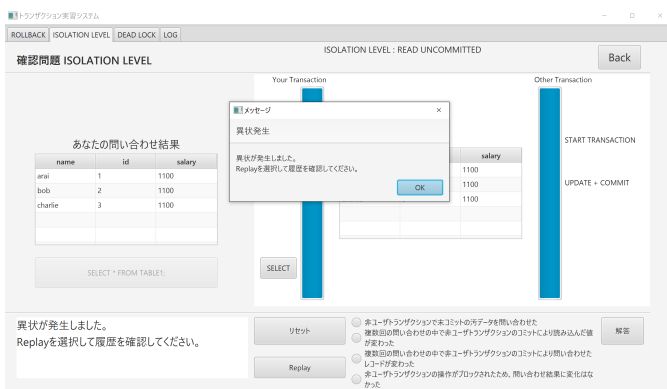


図 7 異状発生時の画面

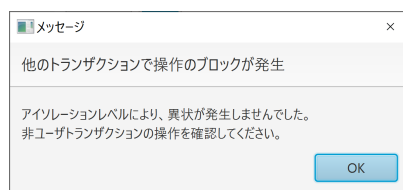


図 8 異状が発生しない場合のダイアログ



図 9 正答した場合のダイアログ

る対象者は、2022 年度本学情報工学科 2 年生向けに開講される「データベース論」の講義を受講している学生である。また、運用期間は 2022 年 12 月 20 日から 2023 年 1 月 6 日の 18 日間とした。対象となる学生は、システムの運用開始前にトランザクションと本システムについて本講義で説明を受けている。

本システムを利用した学生のうち、研究のためのデータ利用に同意を得た学生 53 名から学習履歴データを得た。また、システムの運用終了後には研究のためのデータ利用に同意を得た利用者を対象にアンケートを実施し、14 名からアンケート解答を得た。

## 5.2 学習履歴の集計結果

得られた 53 名の学習履歴から、「ISOLATION LEVEL」の実習に関する履歴を集計した結果を表 2 に示す。

集計結果から、全ての学習者が全てのトピックで学習を完了したことが確認された。総実習回数 850 回に対して、総解答数が 839 回なのは、実習を開始してから最後の選択問題に解答せずに中断を行った履歴があるためである。平均正答率は 72.1 % であり、各トピックごとの正答率を表 3 に示す。ここで、異状が発生する可能性のあるトピックと、異状が発生しないトピックの 2 つに分類すると、異状が発生するトピックでは最小が 38.8 % で最大が 73.9 %、異状が発生しないトピックでは最小が 87.5 % で最大が 98.1 % であった。異状が発生しないトピックの正答率が高い理由は、ユーザトランザクションが非ユーザトランザクションによる影響を受けないことから確認問題の正解が 1 つに絞られたためと考えられる。また、アイソレーションレベルが「READ UNCOMMITTED」で異状が「DIRTY READ」の時に正答率が 38.8 % と極端に低いのは、異状「DIRTY READ」が発生するトピックがこれのみであり、「NONREPEATABLE READ」「PHANTOM READ」とは異状の発生過程が異なり、非ユーザトランザクションでコミット操作が行われていないことに注目する必要があったためだと考えた。

また、学習者は一回の実習でユーザトランザクションの問い合わせを平均 6.1 回実行していた。問い合わせを行ったタイミングについて集計した結果を表 4 に示す。問い合わせタイミングは、0 秒から」が最小値の 273 回であり、「8 秒から」が最大値の 589 回であった。このシステムは、学習者が実習を開始して「START TRANSACTION」ボタ

## 5. 運用評価

### 5.1 運用条件

以上の学習環境を実装したシステムを本学の学生に課題として提示し、運用評価を行った。本システム運用におけ

ンを押した後に間を置かずに時間の経過が開始するため、「0秒から」のタイミングで問い合わせを行う学習者が少なかったが、それ以外のタイミングでは概ね満遍なく問い合わせが行われていた。

表 2 2022 年度の運用結果

	2022 年度
学習者数 (人)	53
全トピック達成した学習者数 (人)	53
平均達成トピック数 (個)	12
総実習回数 (回)	850
学習者ごとの平均実習回数 (回)	17.3
総解答数 (回)	839
平均正答率 (%)	72.1
総問い合わせ回数 (回)	5227
実習ごとの平均問い合わせ回数 (回)	6.1

表 3 トピック別正答率 (%)

	DIRTY READ	NONREPEATABLE READ	PHANTOM READ
READ UNCOMMITTED	38.8	73.9	61.7
READ COMMITTED	87.5	64.2	67.1
REPEATABLE READ	90.9	92.7	61.7
SERIALIZABLE	96.1	92.7	98.1

表 4 問い合わせタイミング

経過秒数	回数
0 秒から	273
1 秒から	585
2 秒から	509
3 秒から	528
4 秒から	548
5 秒から	545
6 秒から	559
7 秒から	565
8 秒から	589
9 秒から	526

### 5.3 アンケートの集計結果

得られた 14 名のアンケート結果から、本学習環境に関係する項目を抜粋して図 10 から図 15 に示す。

## 6. 考察

アンケートの質問 14. から、アイソレーションレベルを良い学習項目だと思った意見が 4 件しか無かったことがわかる。しかし、質問 15. ではアイソレーションレベルを良い学習項目だと思った学習者が「視覚的にわかりやすかった」と記述している。また、質問 17. 質問 18. からアイソレーションレベルを悪い学習項目だと思った意見が 1 件あり、「定型的に答える部分ができってしまったから」と記述している。これは、5.2 節で述べたように半数のトピックは

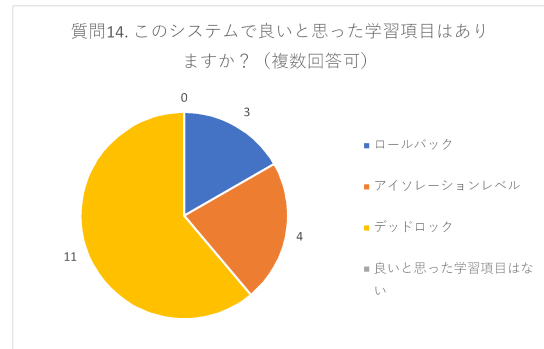


図 10 質問 14.

質問15. できれば1つ前の質問の回答を選んだ理由を記述してください  
視覚的にわかりやすかった

図 11 質問 15.

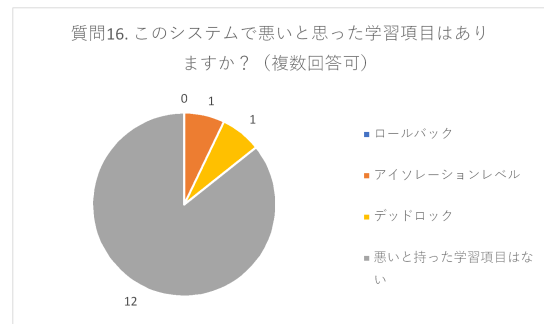


図 12 質問 16.

質問17. できれば1つ前の質問の回答を選んだ理由を記述してください  
定型的に答える部分ができってしまったから

図 13 質問 17.

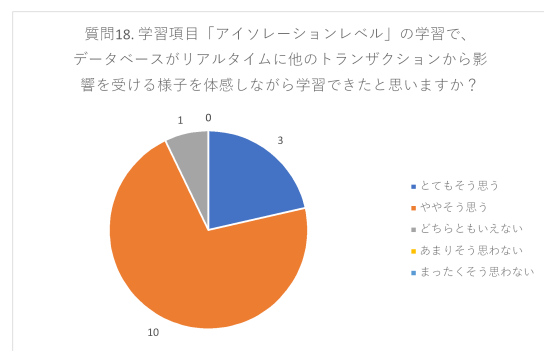


図 14 質問 18.

異状が発生せず、実習と確認問題への解答が容易であったためと考えた。

質問 18 から、「とてもそう思う」「ややそう思う」の意見を合わせて 13 件の肯定的な解答が得られた。よって、ほ

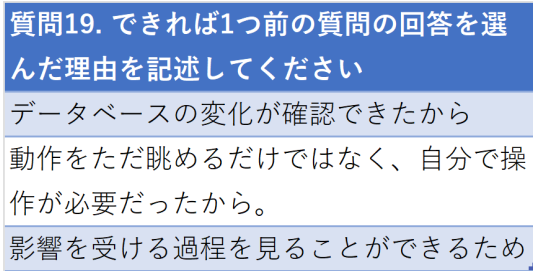


図 15 質問 19.

ほとんどの学習者にとってデータベースがリアルタイムに他のトランザクションから影響を受ける様子を体感しながら学習できていたことが確認できた。よって、データベースのトランザクション同時実行を体感できる学習環境の開発目的を達成できたといえる。その一方で、学習項目を良いと思った人数は少なく、学習トピックについて改良が必要である。

## 7. まとめと今後の課題

本研究では、実際に同時実行されるトランザクションの中で、学習者が注目したトランザクションが自動的に実行される他のトランザクションの影響を受ける様子を体感できる学習環境を提案し、トランザクション実習システムに対して開発を行った。学習環境を実装した本システムを本学情報工学科で開講されている「データベース論」で実際に運用を行い、学習履歴とアンケートの結果から実装した学習環境が目的を達成できているか考察を行った。アンケートの結果から、ほとんどの学習者にとってデータベースがリアルタイムに他のトランザクションから影響を受ける様子を体感しながら学習できていたことが確認できた。その一方で、アイソレーションレベルの学習項目を良いと思った回答が14名から4件しか得られなかった。また、学習項目を悪いと思った回答が1件得られた。これは、アイソレーションレベルと異状の全ての組み合わせの半数は異状が発生せず、実習と確認問題への解答が容易であったためと考えた。これらの結果から、改善点として学習トピックの改良が挙げられる。実装した学習環境に関するアンケートの回答を参考に、システムの機能向上を目指しさらなる改良を行うことが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 新井輝, 岡田信一郎, “データベース学習のためのトランザクション実習システムの開発と運用評価,” 情報処理学会研究報告, Vol.2021-CE-158, No.1, 2021年2月.
- [2] 白井詩沙香, 長瀧寛之, 竹中一平, 武本康宏, 田邊則彦, 兼宗進, “情報システムにおけるデータベースの仕組みを学ぶ共通教科「情報」の授業の開発と評価,” 情報処理学会論文誌 教育とコンピュータ, Vol.5, No.3, pp.23-34, (Oct. 2019).
- [3] 佐藤信, “情報工学コースのためのLinuxシェルによるコンカレント・プログラミング入門,” 情報処理学会研究報

- 告, Vol.2021-CE-161, No.5, 2021年10月.
- [4] 松本圭太郎, 岡田信一郎, “データベースのトランザクション同時実行を体感できる学習環境の提案,” 情報処理学会研究報告, Vol.2022-CE-164, No.19, 2022年3月.
- [5] HSQLDB 入手先 (<http://hsqldb.org>) (2022年2月閲覧).