

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

新井 輝¹ 岡田 信一郎²

概要: 近年の情報社会では、情報システムが増加の一途を辿っている。その中で、情報を扱うためのデータベースを学習することは技術者にとって大切である。筆者らは、データベースの学習を支援するための「SQL 実習支援システム」、「リレーショナルデータモデル演習システム」を開発し、本学情報工学科の「データベース論」の授業で運用評価を行ってきた。そして、今回はトランザクションに関する学習を支援する「トランザクション実習システム」を開発した。トランザクションに関する「ロールバック」「アイソレーションレベル」「デッドロック」という三つの機能、仕組みを GUI による簡単な操作で体験できることを目指した。そして筆者らは、2020 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。

Development and Evaluation of the Transaction Exercise System for Learning Database

1. はじめに

近年の情報社会では、情報システムが増加の一途を辿っている。その中で、情報を扱うためのデータベースを学習することは技術者にとって大切である。筆者らは、データベースの学習を支援するための「SQL 実習支援システム」[1]、「リレーショナルデータモデル演習システム」[2]を開発し、本学情報工学科の「データベース論」の授業で運用評価を行ってきた。

データベース教育に関する関連研究では、文献 [3] の高校生向けの授業開発などがある。筆者らのシステムは、初学者向けではあるが、情報工学を専門とする大学生を対象としており、SQL やリレーショナルデータモデルを常に利用する道具として活用できるまで習熟させることを目的としている。

データベースに対する重要な学習項目には SQL, リレーショナルデータモデルの他にトランザクションが挙げられるが、これまではトランザクションに対する学習支援シ

ステムが存在しなかった。そのため、学習者はトランザクションに関する実習のために、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。

しかし、この方法では学習者は自身が正しい手順で実習を行っているのかを判断することが難しい。その原因は、トランザクションは命令や操作に対する結果だけでは手順の正しさを確認できないことにある。

そこで、筆者らはトランザクションに関する学習を手軽に行える「トランザクション実習システム」を開発した。

2. 開発方針

当システムは、データベース初学者を対象としたシステムであり、トランザクションの基礎概念の理解を手軽にできることを目的としている。すなわち命令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進めることとした。また、当システムは、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利用することができる。

さらに、当システムは Java で記述されたオープンソースデータベースマネジメントシステムである HSQLDB[4] を用いてデータベースとのやり取り、トランザクション処理

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

² 茨城大学工学部
Faculty of Engineering, Ibaraki University

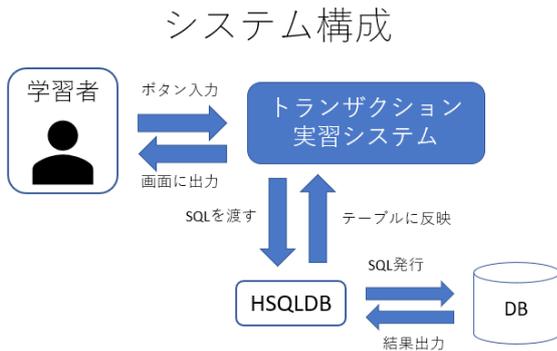


図 1 システム構成



図 3 ロールバック

マルチスレッドの利用

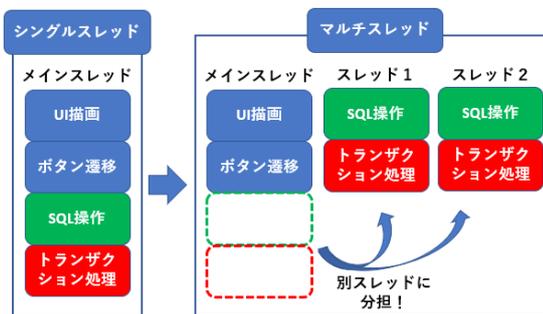


図 2 マルチスレッド利用イメージ



図 4 操作 1

を行っている。そのシステム構成を図 1 に示す。学習者が UI のボタンを押したら、当システムはそのボタンに対応する SQL を HSQLDB に渡し、HSQLDB がデータベースとデータのやり取りをする。その後、当システムは HSQLDB から返されたデータを画面上に出力する。

そして、当システムの機能を実装するにあたり、JavaFX のマルチスレッドを利用した。当システムでは、複数のトランザクション処理によって実装しなければならない課題があった。そのため、それぞれのトランザクション処理をスレッドごとで分担することで、複数のトランザクション処理を実装した (図 2)。

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、昨年度までの授業において練習問題などとして取り扱っていたことから、「ロールバック」、「アイソレーションレベル」、「デッドロック」の三つの課題を取り上げ、システムへ実装した。それらの課題は実習手順が異なることから、UI は各課題専用のものを開発した。課題はタブの選択によって切り替えることができる。

また、学習者によるボタンなどの操作は、そのほとんどを学習履歴として、学習者のローカルディレクトリのファイルへ記録するようにした。このファイルを指導者に送ることで、学習者が正しい手順で実習を行っているかどうかを指導者が確認できる。

3. システムの実装

3.1 ロールバック

この課題は、「ロールバック」について実習ができることを目指した。ロールバックとは、トランザクションの途中まで進めた処理を全て無かったことにし、トランザクション開始前の状態に戻す機能のことである。図 3 にロールバックの実習画面を示す。

図 3 に示す通り、この画面は確認問題エリアと実習エリアがある。学習の流れとしては、実習エリアに取り組んだ後に、確認問題エリアに取り掛かるものとしている。以下に動作例を挙げて、実習方法を説明する。

まず、確認問題にある通り、実習エリアの START TRANSACTION ボタンを押し、右上のテーブル情報を確認する (図 4)。

続いて、UPDATE, DELETE, INSERT ボタンのいずれかを押し、中央のテーブル情報を確認する (図 5)。

さらにもう一度 UPDATE, DELETE, INSERT ボタンのいずれかを押し、中央のテーブル情報を確認する (図 6)。

最後に ROLLBACK ボタンを押し、下のテーブル情報を確認し、操作全体を通してテーブル情報がどうなったか確認する (図 7)。

以上の操作を終えたら、確認問題エリアの下にある三つの選択肢の中から一つを選び、解答確定ボタンを押す。

なお、全正誤判定は無いが、何回でも実習できる。後述の二つの課題についても同様である。

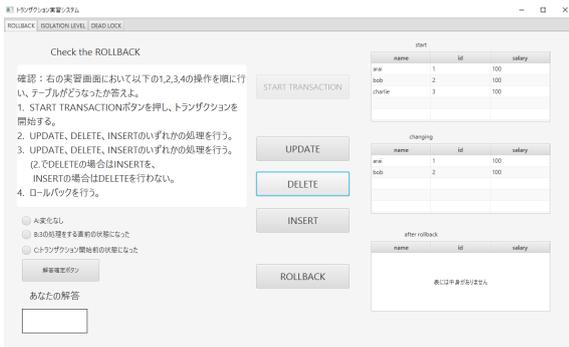


図 5 操作 2



図 8 アイソレーションレベル



図 6 操作 3

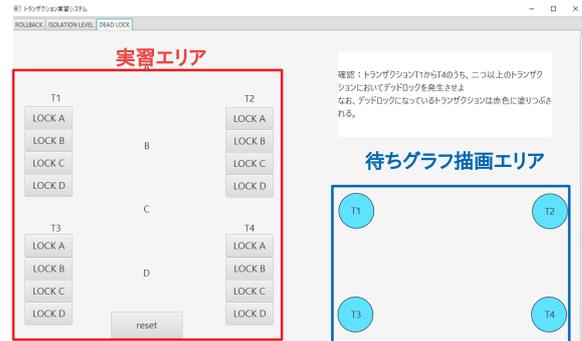


図 9 デッドロック



図 7 操作 4

3.2 アイソレーションレベル

この課題は、「アイソレーションレベル」について実習ができることを目指した。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、あるトランザクションのデータの更新が、他のトランザクションに与える影響の程度を示したものである。次にアイソレーションレベルの実習画面を示す。

図 8 にある通り、この画面は手順表示エリアと実習エリアがある。学習の流れとしては、手順表示エリアに表示される文章に従い、実習エリアに取り掛かるものとしている。

この課題は、アイソレーションレベルごとに異状が発生するかどうかの確認ができる実習となっている。画面左上のメニューボタンから設問を選択すると、手順表示エリアに指示が表示される。その後、指示通りに実習を進めると、異状が発生する場合や、異状が発生しない場合を確認でき

る。指示の最後に質問が表示されるので、その解答を下にあるラジオボタンより選択し、解答確認ボタンを押す。

3.3 デッドロック

この課題は、「デッドロック」について実習ができることを目指した。デッドロックとは、すべてのユーザーが相手の処理待ち状態となり、膠着状態になることをいう。当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ロックを掛け合い、対象のトランザクション全てが相手のロック解除待ち状態に陥ることを指している。次にデッドロックの実習画面を示す。

図 9 にある通り、この画面は画面左側の実習エリアと画面右下の待ちグラフ描画エリアがある。実習画面にある T1, T2, T3, T4 はそれぞれのトランザクションのことであり、右下の待ちグラフの円の英数字と合致している。また、実習画面の中央にある A, B, C, D は各テーブル名を表している。待ちグラフとは、デッドロックを検知、確認するために使用されるグラフのことである。例えば、待ちグラフにおいて T1 → T2 となっていたら、T1 は T2 がロックしているテーブルのアンロックを待っている状態を示している。この矢印をいずれかのトランザクションで閉路が発生させるように描画させると、デッドロックが発生することが確認できる。

学習の流れとしては、実習エリアに取り組み、デッドロックを発生させることとしている。実習エリアの各ロックボタンを押すと対応するテーブルに向けて線が表示され

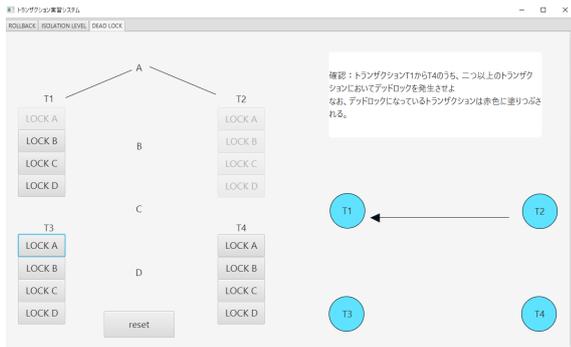


図 10 待ちグラフ描画

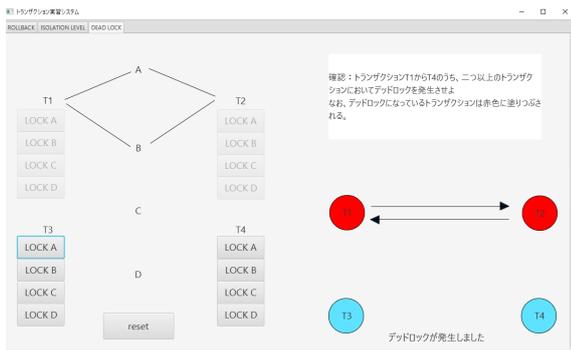


図 11 デッドロック発生

る。この線がテーブルに対してロックをかけていることを意味している。ここで、ロックをかけることに失敗していたら、押したボタンに対応するトランザクションの全てのボタンが使用不可となり、待ちグラフ描画エリアに矢印が表示される。例えば、T1 がテーブル A をロックした後、T2 がテーブル A をロックしようとする待ちグラフに矢印が描画される (図 10)。

この矢印をいずれかのトランザクションで閉路が発生させるように描画させると、デッドロックが発生する (図 11)。

また、実習画面下にある reset ボタンを押すと、今までロックしていたものを全てアンロックし、初期の画面に戻すことができる。これにより、何度もデッドロックの実習を可能にしている。

4. 運用結果

4.1 運用条件

運用の条件として、対象者は令和 2 年度情報工学科 2 年生向けに開講された「データベース論」を受講している学生であり、期間は 2020 年 11 月 18 日から 2020 年 11 月 25 日の 8 日間とした。実習用の PC は各学生の所有するものを用いることとし、JavaFX はすでに他のプログラミング科目や、同科目の別の課題で環境構築がなされていたため、改めて環境構築の指示はしていない。本システムは学習履歴をローカル PC にファイルとして保存するよう実装しているため、大学標準の LMS を通じてファイルを期日まで

表 1 学習履歴の集計結果

学習項目	正解	操作手順は正しい	不正解
ロールバック	32	19	0
アイソレーションレベル	1	48	2
デッドロック	51		0

質問1:トランザクション実習システムによる学習を通して、トランザクションをどのくらい理解できましたか

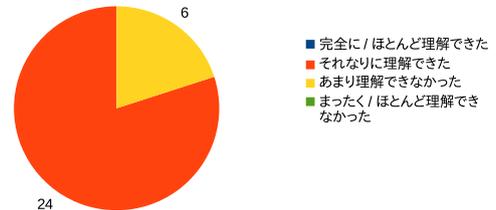


図 12 質問 1

に提出させることとした。

運用により得られたデータは学習履歴、アンケートの 2 種類ある。学習履歴は令和 2 年度情報工学科 2 年生向けに開講された「データベース論」を受講している学生のうち、データの使用の同意を得た学生 53 名のデータを使用した。アンケートは令和 2 年年度情報工学科 2 年生向けに開講された「データベース論」を受講している学生を対象に行われ、30 名の学生から回答を得ることができた。

4.2 結果

当システムの学習履歴の集計結果を表 1 に示す。

学習履歴は 53 名の学生から利用の許可を得た。しかし、表には 51 名のデータしか載せていない。学習履歴は、公開鍵暗号を用いて、暗号化したデータを複合しているが、その際、何らかの原因により、復号が失敗し、集計に利用できないデータが 2 名分あったからだ。原因は究明中である。

表の項目に「操作手順は正しい」がある理由として、当システムは手順通りに実習を行えているかを重視していることが挙げられる。この表から、ロールバックは、正解した人数が 32 人、操作手順まで正しく実習できた人数が 19 人、不正解となった人は 0 人であった。ロールバックは、手順の最後にある確認問題に誤答する人がいたものの、全ての学習者が正しい手順で実習を行うことができた。アイソレーションレベルは、正解した人数が 1 人、操作手順まで正しく実習できた人数が 48 人、不正解となった人は 2 人であった。アイソレーションレベルはシステムの不備により学習履歴を全て取ることができなかったため、手順の最後にある確認問題の解答が少ないが、ほとんどの学習者は手順通りに実習を行えている。デッドロックは、全ての学習者が正解することができた。以上より、ほとんどの学習者がシステムの実習を一通り終えていることを確認できた。

令和 2 年度のアンケートの集計結果を以下の図に示す。

質問2:このシステムを使うための準備は簡単でしたか、難しかったですか

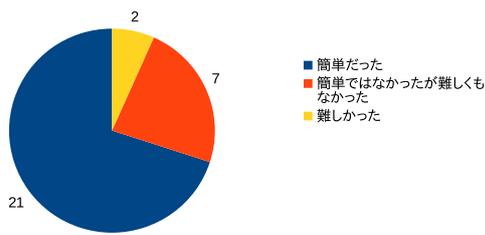


図 13 質問 2

質問3:学習履歴の送信に問題はありませんでしたか



図 14 質問 3

質問4:質問3で問題が起きたと答えた方は、具体的にどのような問題が起きたのか記入してください

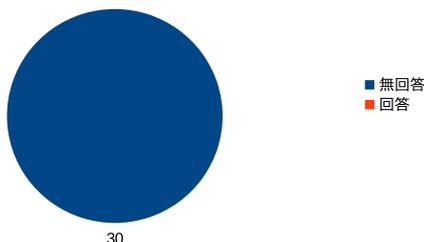


図 15 質問 4

質問5:このシステムを使った学習で良いと思ったところはどこですか？(※複数回答可)

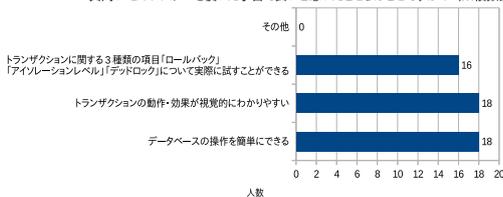


図 16 質問 5

5. 考察

アンケートの質問 1 から、ほとんどの学習者にとって、トランザクションの理解にシステムが役立っていることが確認できた。

アンケートの質問 2, 質問 5, 質問 6 から、システムを使用することにより、手軽にわかりやすくトランザクションの実習ができるということが確認できた。

アンケートの質問 3 から、学習履歴の送信に手間がか

質問6:できれば質問5.の回答を選んだ理由を記述してください

動かし方が分かりやすかったです。
資源のロックが視覚化されることで、デッドロックの発生が分かりやすかった。
実際に動作させることができ、より理解が深まりました。
目に見えて分かるので分かり易かった。
4?比較的にやりやすかったと感じたから
操作は簡単だった
実際に試してできるため
実際にやってみて動きを確認した方が理解しやすいから。
データベース操作が簡単に行えたから
手順ごとの変化が表示されているから
ボタンを押すだけだから。

図 17 質問 6

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)

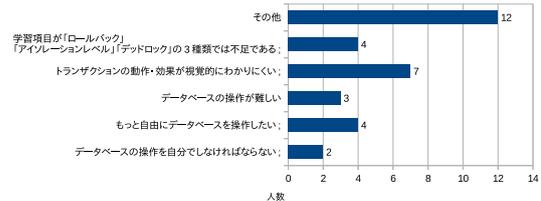


図 18 質問 7

質問8: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

やる事が少なかった気がしました。
学習内容が薄い
ランダムな動作に対して何が起きたかを解答するか、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思ったため。
もう少し実習項目があっても良かったと思います。
とくになし
アイソレーションレベルはよくわからなかった
デッドロックの項目が最初何をしているのかわかりづらかったため
特に悪い点はないと思った
課題2において、データベースがどういった状態なのかわかりにくかった
自分で正答かどうか分からないので、やりにくいとかんじた
正解、不正解がないため、自分の理解が正しいのかわからないから間違っていないかわからないから

図 19 質問 8

質問9:このシステムを使用した時間の合計はおよそ何時間ですか？

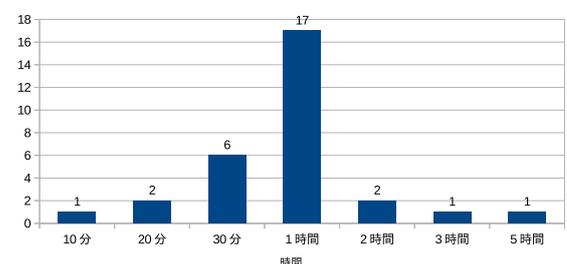


図 20 質問 9

かった学習者が数人いたことが判明した。これは、学習履歴のファイルを学習者の手元に保存してあり、それを運用者側に当システムを介さない別の方法で送信していることが原因と考えられる。したがって、今後は学習履歴を当システムの中だけで収集、閲覧、送信できる機能が必要となる。

質問10:すべてのトピックを終わらせましたか?

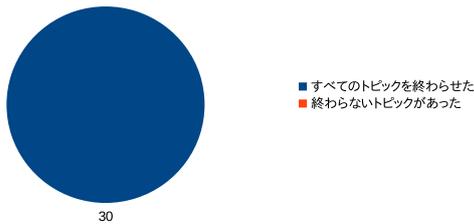


図 21 質問 10

質問11:質問 10.で「終わらないトピックがあった」と答えた人にお聞きします。終わらないトピックがあった理由を教えてください。

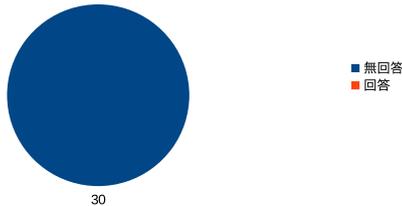


図 22 質問 11

質問12:問題数は適切でしたか?

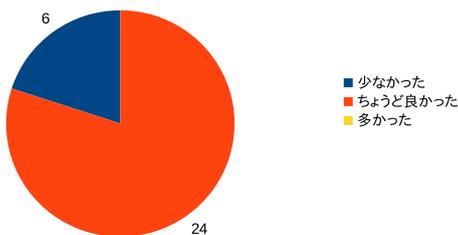


図 23 質問 12

質問13:問題の難易度は適切でしたか?

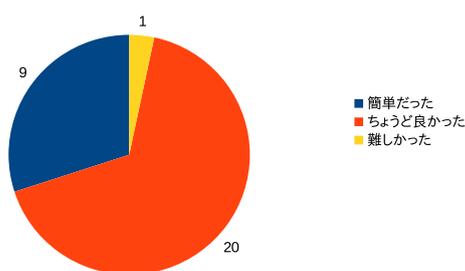


図 24 質問 13

質問14:感想などを自由に記述してください。ご協力ありがとうございました。
プログラムが何回やっても閉じられなかった。ので強制終了してた。でも学習履歴は取れたので、そのままにしました。
おもしろかったです
とくになし
得になし
解答が出ないため少し不安を感じる
学習が正しく行えているかが非常に分かりにくかった。特にアイソレーションレベルの課題において解答が保存されているかが分かりにくかった。

図 25 質問 14

アンケートの質問 7, 質問 8 から, 実習内容が少なかった, 自分の回答が正解かどうか分からなかった, トランザクションの動作・効果が視覚的に分かりにくいという意見があった。これらの意見に対して一つずつ考察を述べていく。

まず, 実習内容の種類は, 今までの講義で取り扱っていた練習問題やレポート課題を元に開発したという背景がある。それを少ないと感じたということは, 今までの講義で取り扱わなかった題材も視野に入れて開発することも検討していく必要があると考えられる。具体的には, トランザクションの処理中に接続を断った際にどのように処理を行うかという「障害時回復」に関する課題, acid 属性や, チェックポイント, redo, undo といったトランザクションに関する語句の課題などが挙げられる。

次に, 自分の回答が正解かどうか分からなかったという意見に対しては, 当システムは確認問題に解答してもらった際, 自分の解答だけを表示し, 問題の答えを表示していないことが原因とされる。したがって, 問題に解答した際, 答えも表示する機能を追加する必要があると考えられる。

最後に, トランザクションの動作・効果が視覚的に分かりにくいという意見に対しては, どの課題が分かりにくいのが判断できないので, 対処の検討が難しい。アンケートのこの選択肢には, 「トランザクションの動作・効果が視覚的に分かりにくい」と記述されており, 三つの課題のうちどの課題が分かりにくいのかを識別することができない。よって, 次回のアンケートには, 課題ごとの設問を設置する必要があると考えられる。よって今後の改善点として, 学習履歴関連機能の開発, 実習内容の拡充, 各問題の正解表示, アンケートの質問再検討などが挙げられる。

また, 運用結果より, 例年よりもトランザクションの課題の出題数を多くできた。これは, 当システムで手順をガイドすることにより, 学習者が実習を行いやすくなり, 学習者により多くの課題に取り組んでもらうことができたからである。

6. まとめ

本研究では, 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を開発した。運用後のアンケート結果より, 当システムは, 手軽に分かりやすくトランザクションの実習ができ, 理解に役立っていたと考えることができる。よって, 学習者の負担を削減しつつ, 理解の支援ができていくという点において, このシステムは実用性があると思われる。また, 改善点として, 学習履歴関連機能の開発, 実習内容の拡充, 各問題の正解表示, アンケートの質問再検討などが挙げられる。以上に挙げた改良点を今後の課題として, データベース学習におけるトランザクション実習システムのさらなる機能向上に努める必要がある。

参考文献

- [1] 石川大輔, 岡田信一郎, “学習間隔に応じた得点計算法の運用評価—SQL 実習支援システムへの適用 —”, 情報処理学会研究報告, Vol.2020-CE-153, No.11, 2020 年 2 月.
- [2] 岡田信一郎, 阿部孝昭, 山縣大輔, “リレーショナルデータモデル演習システムのための正規化問題生成機能の開発と運用評価,” 情報処理学会研究報告, Vol.2017-CE-138, No.17, 2017 年 2 月.
- [3] 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).
- [4] HSQLDB 入手先 (<http://hsqldb.org>) (2021 年 1 月閲覧).