

問3 関係データベースの性能に関する次の記述を読んで、設問1～3に答えよ。

クレジットカード会社のC社では、カード決済の検査機能を強化することになった。C社で使用しているテーブルは大規模であり、情報システム部のFさんが関係データベース管理システム(RDBMS)のSQL文の性能測定を実施することになった。

[RDBMSの主な仕様]

RDBMSの物理構造とアクセス経路に関する主な仕様は、次のとおりである。

1. テーブルの行は、データページに格納される。異なるテーブルの行が、同じデータページに格納されることはない。また、1行が異なるデータページに格納されることはない。
2. 索引には、ユニーク索引と非ユニーク索引がある。ユニーク索引のキーは1行だけを指すのに対し、非ユニーク索引のキーは1行以上の行を指す。
3. 索引には、クラスタ索引と非クラスタ索引がある。キー値の順番と、キーが指す行の物理的な並び順が一致している場合をクラスタ索引と呼び、ランダムな場合を非クラスタ索引と呼ぶ。
4. アクセス経路は、RDBMSによって表探索又は索引探索に決められる。表探索では索引を使わずに先頭データページから全行を探索し、索引探索ではWHERE句中の述語に適した索引によって絞り込んでからデータページ中の行を読み込む。SQL文の実行によって得られる行を、結果行と呼ぶ。
5. 索引探索に使える述語は、次のとおりである。ここで、比較演算子は=, <, >, <=, >=のいずれかである。
 - (1) 列名 比較演算子 比較値
 - (2) 列名 BETWEEN 比較値 AND 比較値

RDBMSのデータ入出力処理とログ出力処理に関する仕様は、次のとおりである。

1. データ入出力処理とログ出力処理は、4,096バイトのページ単位に行われる。
2. データ入出力処理において、磁気ディスク装置(以下、ディスクという)に対してデータページをランダムに入出力する場合、SQL処理中のCPU処理とデータ入出力処理は並行して行われぬ。この場合のデータ入出力処理を同期データ入出力処

理と呼び、SQL 処理時間は次の式で近似できる。

$$\text{SQL 処理時間} = \text{CPU 処理時間} + \text{同期データ入出力処理時間}$$

3. データ入出力処理において、ディスクに対してデータページを順次に入出力する場合、SQL 処理中の CPU 処理とデータ入出力処理は並行して行われる。この場合のデータ入出力処理を非同期データ入出力処理と呼び、SQL 処理時間は次の式で近似できる。ここで、関数 MAX は、引数のうち、大きい方の値を返す。

$$\text{SQL 処理時間} = \text{MAX}(\text{CPU 処理時間}, \text{非同期データ入出力処理時間})$$

4. テーブルごとに確保されたデータバッファが、変更データページによって一杯になった場合、データバッファの内容がディスクに出力される。
5. UPDATE 文によって行を変更した場合、変更前後の行全体がシステムによる回復用ログとしてログページに書き込まれ、システムに 1 個存在するログバッファに蓄えられる。次の事象 A～C のいずれかが発生したとき、ログ先行出力機能によって、ログページはデータページよりも先にディスクに出力される。
- 事象 A トランザクションが、コミットかロールバックを行った。
- 事象 B ログバッファが、ログページによって一杯になった。
- 事象 C データバッファが、変更データページによって一杯になった。
6. 同じディスクに対して、同時に入出力を行うことはない。また、データページが格納されているディスクとログページが格納されているディスクの間で競合は起きない。
7. データバッファとログバッファの大きさは、ともに 2,000 ページである。

[測定用テーブルとその索引の設計]

測定用テーブルとして、行長が異なる 2 個のテーブル、“TA”と“TB”を用意した。測定用テーブルについて、その大きさを表 1 に、列値の範囲と分布を表 2 に、索引の設計を表 3 に示す。

表 1 測定用テーブルの大きさ

テーブル名	行長 (バイト)	行数	全データページ数	1 ページ当たりの行数
TA	200	20,000,000	1,000,000	20
TB	2,000	2,000,000	1,000,000	2

表 2 測定用テーブルの列値の範囲と分布

列名	列値の範囲と分布
C1	“TA” テーブルは 1~2,000 万, “TB” テーブルは 1~200 万のそれぞれ重複がない整数
C2	“TA” テーブルは 1~2,000 万, “TB” テーブルは 1~200 万のそれぞれ重複がない整数
C3	1~4 のいずれかの整数。各列値に同数の行が存在する。
C4	1~1,000 のいずれかの整数。各列値に同数の行が存在する。
C5	整数。測定の前に, 初期値 0 が設定される。
C6	固定長文字列。“TA” テーブルと “TB” テーブルとでは文字列長が異なる。

表 3 測定用テーブルの索引の設計

テーブル名	索引名	列名	索引キーの並び順	ユニーク性	クラスタ性
TA	TAX1	C1	昇順	ユニーク索引	クラスタ索引
TA	TAX2	C2	昇順	ユニーク索引	非クラスタ索引
TA	TAX3	C3	昇順	非ユニーク索引	非クラスタ索引
TB	TBX1	C1	昇順	ユニーク索引	クラスタ索引
TB	TBX2	C2	昇順	ユニーク索引	非クラスタ索引
TB	TBX3	C3	昇順	非ユニーク索引	非クラスタ索引

[測定用 SQL 文の仕様と構文]

測定用 SQL 文について, その仕様を表 4 に, 構文を表 5 に示す。

表 4 測定用 SQL 文の仕様

SQL 文の名前	SQL 文の仕様
SQL1x	表探索によって, 全データページを読み込む。全行が結果行である。
SQL2x	表探索によって, 全データページを読み込む。結果行はない。
SQL3x	非クラスタ索引探索によって, 1,000 行の結果行を得る。述語は 1 個。
SQL4x	C3 列と C4 列を組み合わせたグループごとに C5 列の合計値を求める。ただし, 対象となるのは, グループ内の行数が 10 以上のグループだけである。
SQL5x	クラスタ索引探索によって 1,000 行の結果行を得て, 索引が定義されていない列を更新する。述語は 1 個。UPDATE 文の実行後に COMMIT 文を発行する。
SQL6x	SQL5x の更新行数をホスト変数によって指定可能とする。述語は 1 個。
SQL7x	索引探索によって全体の 4 分の 1 に相当する結果行を得て, 索引が定義されていない列を更新する。述語は 1 個。

注記 x が A の場合は “TA” テーブルを, B の場合は “TB” テーブルをアクセスする。

表 5 測定用 SQL 文の構文 (未完成)

SQL 文の名前	SQL 文の構文
SQL1A	SELECT * FROM TA
SQL2A	SELECT * FROM TA WHERE C4 < <input type="text" value="a"/>
SQL3A	SELECT * FROM TA WHERE <input type="text" value="b"/>
SQL4A	SELECT <input type="text" value="c"/> FROM TA GROUP BY <input type="text" value="d"/> HAVING <input type="text" value="e"/>
SQL5A	UPDATE TA SET C5 = C5 + 1 WHERE C1 BETWEEN 1 AND 1000
SQL6A	UPDATE TA SET C5 = C5 + 1 WHERE C1 BETWEEN 1 AND :hv
SQL7A	UPDATE TA SET C5 = C5 + 1 WHERE C3 = :hv

注記 1 ISOLATION レベルは、READ COMMITTED であり、排他制御は行単位に行われる。

注記 2 SQL1B~SQL7B の各構文は、対応する SQL1A~SQL7A の TA を TB に替えたものである。

[SELECT 文の処理時間の測定]

SELECT 文の処理時間の一部を表 6 に示す。測定では、索引ページはすべてバッファヒットさせ、SELECT 文の結果行は外部ファイルに出力していない。

表 6 SELECT 文の処理時間の一部 (秒)

"TA" テーブル			"TB" テーブル		
SQL 文の名前	SQL 処理	CPU 処理	SQL 文の名前	SQL 処理	CPU 処理
SQL1A	2,010	2,010	SQL1B	1,000	210
SQL2A	1,000	10	SQL2B	1,000	10
SQL3A	10.1	0.1	SQL3B	10.1	0.1

注記 繰返し測定し、値はその平均値で求めた。0.1 秒未満は四捨五入した。

F さんは、表 6 の SELECT 文の処理時間について次のように分析した。

分析 A

SQL1A と SQL2A のデータ入出力処理は、 データ入出力処理である。データ入力処理時間は、 秒である。全データページを順次にデータバッファに入力するのに必要な CPU 処理時間は 10 秒であるから、全行をデータバッファからプログラム内に移動するのに必要な CPU 処理時間は、 秒である。SQL1A に述語 C4<:hv を指定する WHERE 句を追加して結果行を減らせば、SQL 処理時間は短くなるが、 行以下に減らしても 秒より短くはならない。表探索によって "TA" テーブルから N 個の結果行を得るのに必要

な SQL 処理時間 T1 は、次の実験式で表せる。

$$T1 = \text{MAX}(10 \text{ 秒} + 0.1 \text{ ミリ秒/行} \times N \text{ 行}, 1 \text{ ミリ秒/ページ} \times \boxed{k} \text{ ページ})$$

分析 B

SQL3A のデータ入出力処理は、 $\boxed{\ell}$ データ入出力処理である。最大で \boxed{m} ページをランダムに入力したときのデータ入力処理時間は、10 秒である。非クラスタ索引探索によって、“TA” テーブルから N 個の結果行を得るのに必要な SQL 処理時間 T2 は、次の実験式で表せる。ただし、N は 1,000 以下とし、また、データページはバッファヒットしないものとする。

$$T2 = 0.1 \text{ ミリ秒/行} \times N \text{ 行} + 10 \text{ ミリ秒/ページ} \times \boxed{n} \text{ ページ}$$

[UPDATE 文の処理時間の測定]

F さんの上司である G 氏から、UPDATE 文の処理時間の測定に対して次のような要望があった。

- 要望① UPDATE 文を含むトランザクションを並行して実行するとデッドロックが起きる場合がある。デッドロックを意図的に起こさせる試験を追加してほしい。
- 要望② テーブルの全行更新処理が予想される。テーブルを区分に物理分割した場合を検討し、ログ出力処理時間を考慮した SQL 処理時間を推定してほしい。

F さんは、まず SQL6x を測定し、クラスタ索引探索によって N 行を更新する場合の SQL 処理時間 T3 を推定する実験式を考えた。ここで、データページの 1 ページ中の全行を更新するごとにログページが 2 ページ出力されるものとする。

$$T3 = \text{MAX}(0.2 \text{ ミリ秒/行} \times N \text{ 行}, 1 \text{ ミリ秒/ページ} \times \text{入出力データページ数}) \\ + 1 \text{ ミリ秒/ページ} \times \text{出力ログページ数}$$

次に、“TA” テーブルと “TB” テーブルをそれぞれ次のように区分に物理分割し、処理時間を短縮するために区分別の UPDATE 文を並行して実行させることを考えた。

1. C3 列を区分キーとして、テーブルを四つの区分に物理分割する。
2. データ入出力処理が競合しないように、各区分を異なるディスクに配置する。
3. 索引の TAX3 と TBX3 がクラスタ索引になるように、各テーブルの行を並べ替える。
4. ホスト変数に区分キーのいずれかの値を指定した四つの SQL7x を区分別に作成する。SQL7x は、それぞれ該当区分の全行を更新する。
5. UPDATE 文は、カーソルを使用し、1,000 行を更新するごとにコミットする。

そして、“TA” テーブルと “TB” テーブルを物理分割せずに全行更新する場合と、物理分割した上で、1 区分だけを全行更新する場合と、全区分を並行して全行更新する場合の各 UPDATE 文の処理時間を、実験式を用いて推定し、表 7 に示した。

表 7 UPDATE 文の処理時間 (秒) (未完成)

SQL 文の名前	並行数	“TA” テーブル				“TB” テーブル			
		SQL 処理	CPU 処理	データ入出力処理	ログ出力処理	SQL 処理	CPU 処理	データ入出力処理	ログ出力処理
SQL6x	1	6,000	4,000	2,000	2,000	4,000	400	2,000	2,000
SQL7x	1	1,500	1,000	500	500	1,000	100	500	500
SQL7x	4		1,000	500	o		100	p	q

注記 1 は表示していない。

注記 2 並行数は、並行して実行する UPDATE 文の数を示す。

注記 3 1 秒未満は四捨五入した。

設問 1 [測定用 SQL 文の仕様と構文] における SQL 文について、表 5 の SQL 文中の a ~ e に入れる適切な字句を答えよ。

設問 2 [SELECT 文の処理時間の測定] における F さんの分析 A と分析 B について、本文中の f ~ n に入れる適切な字句を答えよ。

設問 3 [UPDATE 文の処理時間の測定] における G 氏の要望について、(1)~(3)に答えよ。

(1) 要望①に対応するために、F さんは SQL5A とデッドロックが起きる可能性がある UPDATE 文の例を次のように作成した。この SQL 文中の ア に入れる適切な字句を答えよ。また、このときにデッドロックが起きる理由を、35 字以内で述べよ。ここで、WHERE 句の述語 1 個だけで 1,000 行を更新し、かつ、アクセス経路は索引探索に限るものとする。

UPDATE TA SET C5 = C5 + 1 WHERE ア

(2) 要望②に対応するために推定した表 7 中の o ~ q に入れる適切な字句を答えよ。

(3) SQL6A を実行したとき、ログ先行出力機能の動作条件である事象 A~Cのうち、発生しない事象がある。発生しない事象を記号で答え、その理由を本文中の用語を用いて、25 字以内で述べよ。ここで、ほかに実行中の更新処理はないものとする。