マルチスレッド ハンズオン

第３回　デッドロックと実行性能

アジェンダ

- 前回のおさらい
- デッドロック
- 実行性能

前回のおさらい

FixedThreadPoolに指定スレッドプール数以上のタスクを投入したらどうなるか

newFixedThreadPool

public static ExecutorService newFixedThreadPool(int nThreads)

共有アンバウンド形式のキューなしで動作する、固定数のスレッドを再利用するスレッドプールを作成します。任意のポイントで、最大 nThreads のスレッドがアクティブな処理タスクになります。すべてのスレッドがアクティブな場合に、追加のタスクが送信されると、それらのタスクはスレッドが使用可能になるまでキューで待機します。実行中に発生した障害のために、いずれかのスレッドがシャットダウン前に終了した場合は、必要に応じて新規スレッドが引き継いで後続のタスクを実行します。明示的な shutdown が行われるまでは、スレッドはプール内に存在します。

パラメータ:

nThreads - プール内のスレッド数

戻り値:

新しく作成されたスレッドプール

例外:

IllegalArgumentException - nThreads <= 0 の場合

すべてのスレッドがアクティブな場合に、追加のタスクが送信されると、それらのタスクはスレッドが使用可能になるまでキューで待機します。
→実行待ちになる。

Callableを実装したタスクを実行前にshutdownNowでキャンセルした場合どうなるか

- RejectCallableTask.java

```
        ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool(NUM_THREADS);
        for(int i=1; i<=NUM_TASKS; i++) {
            executor.submit(new GetCurrentDateTask());
        }
        List<Runnable> runnableList = executor.shutdownNow();
        for(Runnable r : runnableList) {
            System.out.println(r.getClass().getName());
        }
. . .
    private static class GetCurrentDateTask implements Callable<Date> {
        public Date call() {
            return new Date();
        }
    }
```

java.util.concurrent.FutureTask（implements Runnable）のインスタンスが返される。

WeakHashMapとHashMapの違い

- WeakHashMapSample.java

```
// WeakHashMap
Map<String, Integer> weakMap = new WeakHashMap<String, Integer>();

// それぞれ値を追加（"hoga"=2）
String key2 = new String("hoga");
weakMap.put(key2, 2);

// 値を表示
System.out.println("WeakHashMap");
for(Map.Entry<String, Integer> entry : weakMap.entrySet()) {
    System.out.println(entry);
}

// キー値"hoga"を弱参照にする
key2 = new String("moga");
// ガベージコレクタを実行
System.gc();
```

弱キーによる Map インタフェースの実装＝キーが弱到達可能（スレッドからアクセスできる変数からトラバースしても到達不可能）になると、エントリが削除されるMapのこと。すぐgcされるので、キャッシュには向かない模様。用途は？

（参考）http://k-ui.jp/blog/2012/12/25/weakhashmap-is-not-a-cache/

デッドロック

単純なデッドロックの例（1）

- SimpleDeadlock.java

```
final Object left = new Object();
final Object right = new Object();

// left -> rightの順にロックを取得するタスク
Runnable leftRightTask = new Runnable() {
    public void run() {
        synchronized(left) {
            try {
                Thread.sleep(SLEEP_TIME);
            } catch(InterruptedException e) {
                // 何もしない
            }

            synchronized(right) {
                System.out.println("leftRight");
            }
        }
    }
};
```

単純なデッドロックの例（2）

- SimpleDeadlock.java

```
// right -> leftの順にロックを取得するタスク
Runnable rightLeftTask = new Runnable() {
    public void run() {
        synchronized(right) {
            try {
                Thread.sleep(SLEEP_TIME);
            } catch(InterruptedException e) {
                // 何もしない
            }

            synchronized(left) {
                System.out.println("rightLeft");
            }
        }
    }
};
```

単純なデッドロックの例（3）

Thread1
(leftRightTask)

synchronized
(left)

synchronized
(right)

Thread2が保持しているrightのロック解放待ち

Thread2
(rightLeftTask)

synchronized
(right)

synchronized
(left)

Thread1が保持しているleftのロック解放待ち

Thread1、Thread2お互いが、お互いの保持するロック解放待ちとなり、デッドロックとなる。
これを防ぐには、ロックの取得順をあらかじめ決めておく必要がある。（left→rightか、right→leftのどちらか）

動的なデッドロックの例（1）

- DyamicDeadlock.java

```
/**
 * 取引を表すクラス
 */
private static class Deal {
    /**
     * fromAccountからtoAccountへ指定したamount送金する
     * @param fromAccount
     * @param toAccount
     * @param amount
     */
        public void transferMoney(Account fromAccount, Account toAccount, BigDecimal
amount) {
            synchronized(fromAccount) {
                synchronized(toAccount) {
                    fromAccount.debit(amount);
                    toAccount.credit(amount);
                }
            }
        }
    }
```

fromAccount→toAccountの順にロックを取得している。
順番にロックを取得しているにも関わらず、デッドロックになる場合がある。
なぜか。

動的なデッドロックの例（2）

- DyamicDeadlock.java

```
final Account accountA = new Account();
final Account accountB = new Account();

// 口座Aから口座Bに10,000円送金するタスク
Runnable transferAtoBTask = new Runnable() {
    public void run() {
        for(int i=0; i<LOOP_COUNT; i++) {
            new Deal().transferMoney(accountA, accountB, new BigDecimal(10000));
        }
    }
};

// 口座Bから口座Aに20,000円送金するタスク
Runnable transferBtoATask = new Runnable() {
    public void run() {
        for(int i=0; i<LOOP_COUNT; i++) {
            new Deal().transferMoney(accountB, accountA, new BigDecimal(20000));
        }
    }
};
```

transferMoneyの引数に渡す引数の順番を入れ替えるとデッドロックが起きうる。

動的なデッドロックの例（3）

Thread1
(AtoBTask)

synchronized
(accountA)

synchronized
(accountB)

Thread2が保持しているaccountAのロック解放待ち

Thread2
(BtoATask)

synchronized
(accountB)

synchronized
(accountA)

Thread1が保持しているaccountBのロック解放待ち

Thread1、Thread2お互いが、お互いの保持するロック解放待ちとなり、デッドロックとなる。
これを防ぐには、次ページ参照。

動的なデッドロックの例（４）

- DyamicDeadlock2.java

```
int fromHash = System.identityHashCode(fromAccount);
int toHash = System.identityHashCode(toAccount);
if(fromHash < toHash) {
    synchronized(fromAccount) {
        synchronized(toAccount) {
            transferMoney(fromAccount, toAccount, amount);
        }
    }
} else if(toHash < fromHash) {
    synchronized(toAccount) {
        synchronized(fromAccount) {
            transferMoney(fromAccount, toAccount, amount);
        }
    }
} else {
    synchronized(tieLock) {
        synchronized(fromAccount) {
            synchronized(toAccount) {
                transferMoney(fromAccount, toAccount, amount);
            }
        }
    }
}
```

ロック対象オブジェクトのハッシュコードを求めて、ハッシュコードの小さい順にロックする。二つのオブジェクトで同じハッシュコードが得られた場合は、tieLockを使って同期化する。

オープンコールを使ってデッドロックを避ける（1）

- CoObjectDeadlock.java
  - Taxi#setLocationと、Dispatcher#getImageを複数スレッドから同時に呼ぶと、デッドロックを起こすことがある。
  - Taxi#setLocationは、Taxi→Dispatcherの順にロックを取得する。
  - Dispatcher#getImageは、Dispatcher→Taxiの順にロックを取得する。

オープンコールを使ってデッドロックを避ける（2）

- CoObjectDeadlock2.java
  - オープンコールとは、他のロックを保有しないでメソッドを呼び出すこと。
  - Taxi#setLocationは、以下のように改良されている。
    1) Taxiのロックを取得
    2) 必要な情報をコピー
    3) Taxiのロックを解放
    4) Dispatcherのメソッド呼び出し（ロックを取得；Taxiのロックを持たずにメソッド呼び出ししているのでオープンコールとなる）
  - Dispatcher#getImageも同様。

tryLockを使ってデッドロックを避ける（1）

- TryLock.java

```
Runnable leftRightTask = new Runnable() {
...
if(left.tryLock()) {
    try {
        Thread.sleep(SLEEP_TIME);

        if(right.tryLock()) {
            try {
                System.out.println("leftRight");
                break;
            } finally {
                right.unlock();
            }
        } else {
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ": Lock right failed.");
        }
    } catch(InterruptedException e) {
        // 何もしない
    } finally {
        left.unlock();
    }
} else {
    System.out.println(Thread.currentThread().getName() + ": Lock left failed.");
}
```

left→rightの順にロックを取得するところは、SimpleDeadlock.javaと同じだが、ロックの取得に失敗した場合は、ロックを解放して処理終了する。（実用的にはリトライする）

デッドロックの診断（1）

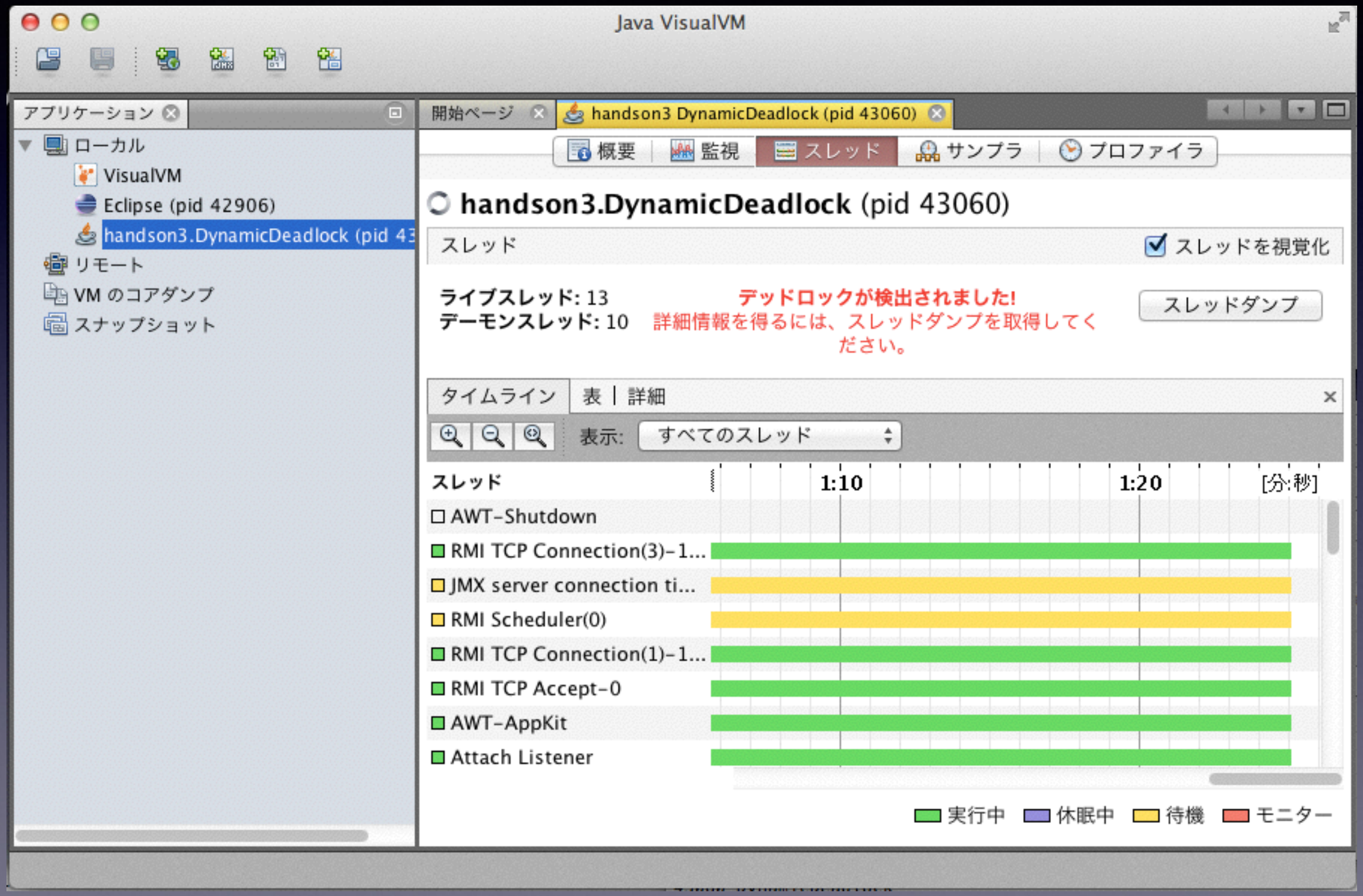
- デッドロックが起きてもJVMが例外を投げたりするわけではない（ダンマリ）。
  診断は以下のように行う。jps/jstackを使う場合。

  - DynamicDeadlockを実行する。
  - コマンドラインからjpsを実行。
  - コマンドラインからjstackを実行。引数に、jpsコマンドで取得したDynamicDeadlockのpidを指定する。
  - スレッドダンプが表示され、最下行に
    ”Found 1 deadlock.”が表示される。

デッドロックの診断（2）

- jvisualvmを使う場合
  - DynamicDeadlockを実行する。
  - コマンドラインからjvisualvmを実行。
  - アプリケーションペインから、DyamicDeadlockのプロセスをダブルクリック。
  - スレッドをクリック。
    “デッドロックが検出されました!”のメッセージが表示される。
  - （補足）「jvisualvmは、jconsole、jstat、jinfo、jstack、jmapなんかを全部まとめたすごいやつ。」だそうです。
    http://ameblo.jp/wataru420/entry-11250099243.html

デッドロックの診断（3）


Java VisualVM
アプリケーション
ローカル
VisualVM
Eclipse (pid 42906)
handson3.DynamicDeadlock (pid 43
リモート
VM のコアダンプ
スナップショット
開始ページ
handson3 DynamicDeadlock (pid 43060)
概要
監視
スレッド
サンプラ
プロファイラ
handson3.DynamicDeadlock (pid 43060)
スレッド
スレッドを視覚化
ライブスレッド: 13
デーモンスレッド: 10
デッドロックが検出されました!
詳細情報を得るには、スレッドダンプを取得してください。
スレッドダンプ
タイムライン
表 | 詳細
表示:
すべてのスレッド
スレッド
1:10
1:20
[分:秒]
AWT-Shutdown
RMI TCP Connection(3)-1...
JMX server connection ti...
RMI Scheduler(0)
RMI TCP Connection(1)-1...
RMI TCP Accept-0
AWT-AppKit
Attach Listener
実行中
休眠中
待機
モニター

ハンズオン１

- 3スレッド間でデッドロックを起こすサンプルを作成せよ。

- tryLockを使って、上記サンプルでデッドロックが起こらないようにせよ。（可能であればリトライさせる。）

- ヒント：共有オブジェクトは3つ用意する。スレッド1はA→B、スレッド2はB→C、スレッド3はC→Aの順にロックを取得する。

デッドロック以外の生存事故 - 飢餓状態（1）

- StarvationSample.java

```
final Object sharedObject = new Object();

// 一旦ロックをつかんだら二度と解放しないタスク
Runnable infiniteLoopTask = new Runnable() {
    public void run() {
        synchronized(sharedObject) {
            while(true) {
            }
        }
    }
};

// ロックを取ろうとするが、取得できないタスク
Runnable starvationTask = new Runnable() {
    public void run() {
        while(true) {
            synchronized(sharedObject) {
                System.out.println("starvationTask");
            }
        }
    }
};
```

infiniteLoopTaskが一度sharedObjectのロックを取得すると、二度と解放しないので、starvationTaskはロックを取得することができず、ロック解放待ちのままウエイト状態となる。

デッドロック以外の生存事故 - 飢餓状態（2）

- 飢餓状態の診断は以下のように行う。
  - StarvationSampleを実行する。
  - コマンドラインからjpsを実行。
  - コマンドラインからjstackを実行。引数に、jpsコマンドで取得したStarvationSampleのpidを指定する。

デッドロック以外の生存事故 - 飢餓状態（3）

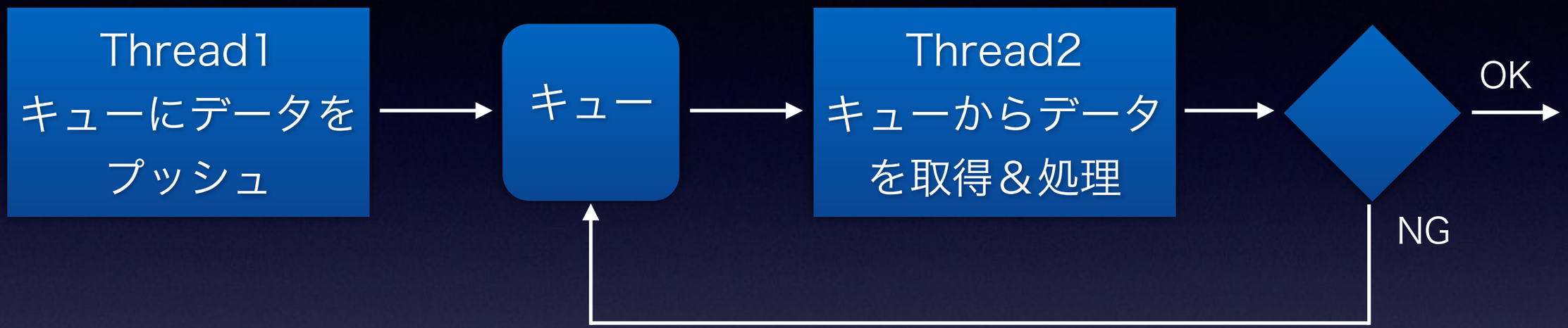
- jstackの出力（抜粋）

```
"pool-2-thread-1" prio=5 tid=7fdf8c8f0000 nid=0x1092a4000 waiting for monitor entry [1092a3000]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
   at handson3.StarvationSample$2.run(StarvationSample.java:29)
   - waiting to lock <7f3120bd0> (a java.lang.Object)
   at java.util.concurrent.Executors$RunnableAdapter.call(Executors.java:439)
   at java.util.concurrent.FutureTask$Sync.innerRun(FutureTask.java:303)
   at java.util.concurrent.FutureTask.run(FutureTask.java:138)
   at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor$Worker.runTask(ThreadPoolExecutor.java:895)
   at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor$Worker.run(ThreadPoolExecutor.java:918)
   at java.lang.Thread.run(Thread.java:695)

"pool-1-thread-1" prio=5 tid=7fdf898c8800 nid=0x1091a1000 runnable [1091a0000]
   java.lang.Thread.State: RUNNABLE
   at handson3.StarvationSample$1.run(StarvationSample.java:19)
   - locked <7f3120bd0> (a java.lang.Object)
   at java.util.concurrent.Executors$RunnableAdapter.call(Executors.java:439)
   at java.util.concurrent.FutureTask$Sync.innerRun(FutureTask.java:303)
   at java.util.concurrent.FutureTask.run(FutureTask.java:138)
   at java.util.concurrent.ScheduledThreadPoolExecutor$ScheduledFutureTask.access
$301(ScheduledThreadPoolExecutor.java:98)
   at java.util.concurrent.ScheduledThreadPoolExecutor
$ScheduledFutureTask.run(ScheduledThreadPoolExecutor.java:206)
   at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor$Worker.runTask(ThreadPoolExecutor.java:895)
   at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor$Worker.run(ThreadPoolExecutor.java:918)
   at java.lang.Thread.run(Thread.java:695)
```

Thread1が7f3120bd0をロックしており、Thread2が7f3120bd0のロック取得待ちとなっていることが分かる。

デッドロック以外の生存事故 - ライブロック



エラーのとき、リトライのため、キューにデータを戻す

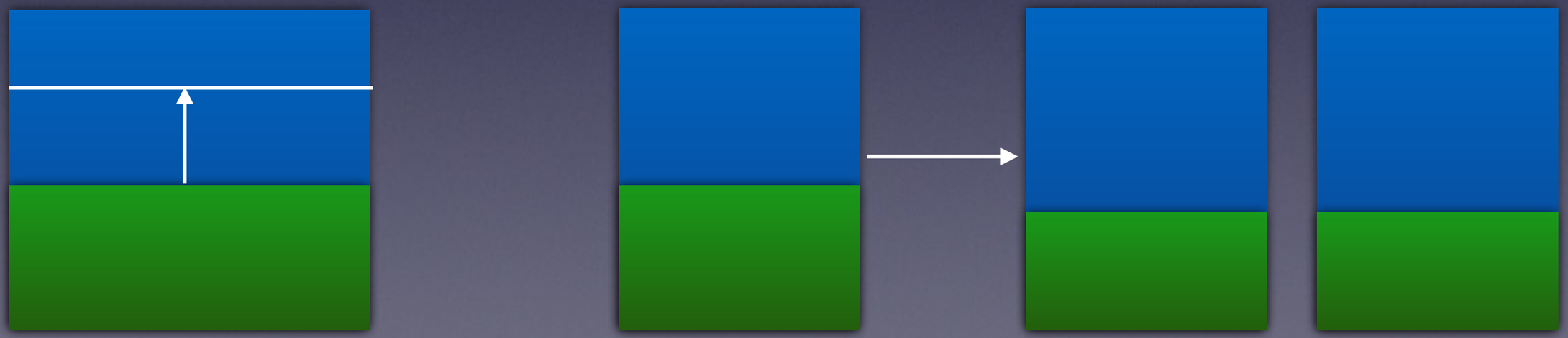
何回リトライしてもエラーになるデータの場合、無限ループになる

リトライすべきエラーと、そうでないエラーを、区別する必要がある。

実行性能

実行性能の向上を目指して並行処理を使う目的

- 既存の処理資源をより有効に利用すること（余ってるCPUパワーの有効活用など）。
- 今後さらに処理資源（CPU、メモリ、IOの帯域幅）を増やすことに意味があるシステムを作りあげること。



実行性能の向上とスケーラビリティの向上

- 実行性能の向上
    - 計算結果のキャッシュや、アルゴリズムのチューニング
      O（n^2）→O（n log n）を行うこと。
- スケーラビリティとは
    - 計算資源（CPU、メモリ、I/Oの帯域幅など）を増やしたときにスループットや処理能力がどれぐらい向上するかしないかを計る測度のこと。
- スケーラビリティの向上
    - 処理資源を増やして処理能力を向上させること。

実行性能の向上を目指す際の注意

- 最適化することよりも、正しいコードを書くことを優先すること。高速化は、必要な速さが得られないときだけ取り組むべき。（バグリやすい）

- 実測せよ、推測するな。
  - 大きなデータ集合の場合は、バブルソートよりも、クイックソートの方が効率的だが、
    小さなデータ集合の場合は、バブルソートの方が効率的。
    →処理するデータの性質などによるため、実測が大事になる

実行性能の向上

- 並列化
  →既存の処理資源をより有効に利用する。

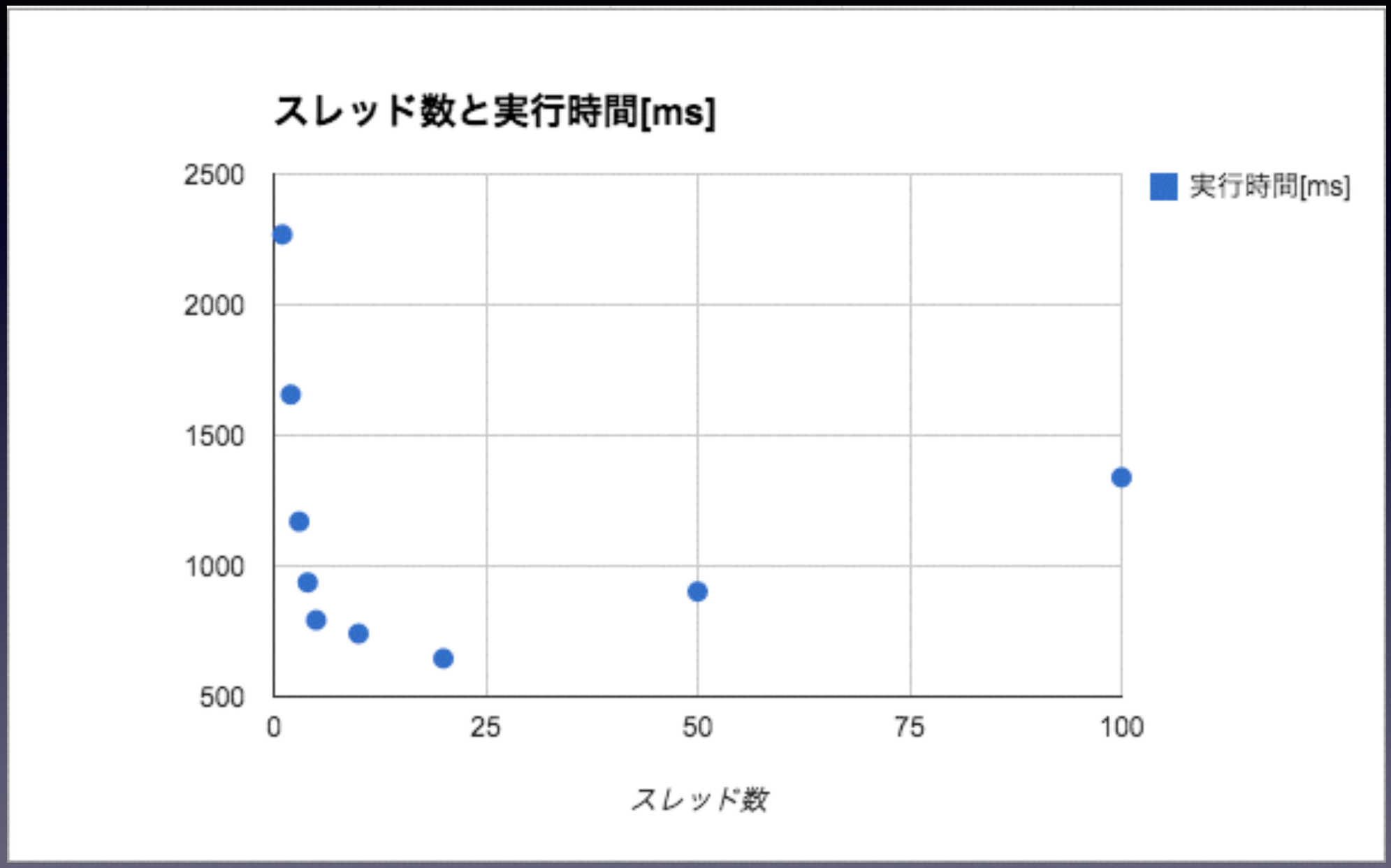
- スレッドのコストを意識する
  →並列化による実行性能の利得＞並行処理のコストとなる必要がある。

- ロックの争奪を減らす
  →排他ロックがガードしている資源へのアクセスは直列になる。

実行性能の向上 - 並列化（1）

- ファイルを読み込んで行数を返すタスクを作成し、スレッド数に応じて実行性能がどのように変化するか見る。
- jvisualvmを実行。
- NThreadsを実行。
- コンソールに実行時間、jvisualvmにCPU、メモリ使用量の経過が表示される。

実行性能の向上 - 並列化（2）

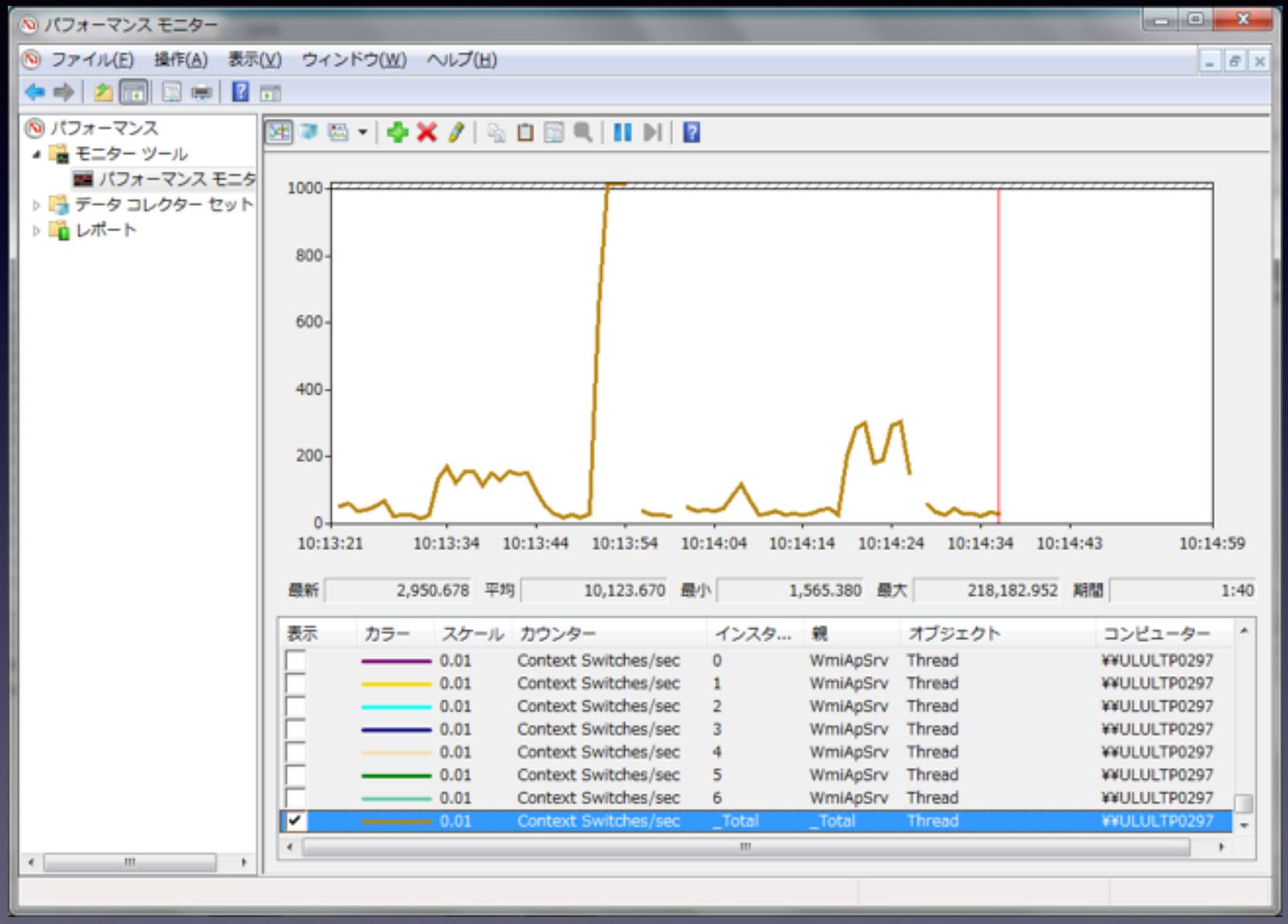


20スレッドまでは、スレッド数を増やすほど実行時間が短くなっているが、50スレッドより増やしても、むしろ実行時間が長くなっている。
→スレッドのコストが増大したことや、I/Oの競合が原因として考えられる。

実行性能の向上 - スレッドのコストを意識する（1）

- スレッドのコストには以下のようなものがある
  - コンテキストスイッチ
    - 今現在CPUを使っているスレッドの実行コンテキストをセーブして、スケジューリングにより次にCPUをもらうスレッドの実行コンテキストをリストア（復元）すること。

実行性能の向上 - スレッドのコストを意識する（2）



windowsのperfmonツールで表示したContext Switchesのグラフ。
前半、1000スレッドを起こしたとき（ContextSwitch2）は、激しくコンテキストスイッチしているのに対し、後半、シングルスレッドのとき（ContextSwitch）はコンテキストスイッチが少ない。

実行性能の向上 - スレッドのコストを意識する（3）

- ロギングフレームワークの設計例

実行性能の向上 - スレッドのコストを意識する（4）

- メモリの同期化
  - synchronizedとvolatileが提供している可視性保証にはメモリバリヤと呼ばれる特殊な命令が使われ、プロセスのキャッシュをフラッシュまたは無効化し、ハードウェアの書き込みバッファをフラッシュし、実行パイプラインを停止します。
- ブロッキング
  - ロックの争奪が起こると、以下のどちらかを行う（JVMの実装による）
    - スピンウェイト（成功するまで何度もロックの入手をトライすること）
    - サスペンド（一時停止）

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ロックのスコープを狭める（1）

- ShrinkLockScope.java

```
// ロックスコープが大きいタスク
Runnable task1 = new Runnable() {
    public void run() {
        synchronized(sharedObject) {
            // 何か処理
            doSomething();

            // 共有オブジェクトに対する処理
            sharedObject.add(1);

            System.out.println("Done.");
        }
    }
};
```

何が問題で、どう修正すればよいでしょうか。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ロックのスコープを狭める（2）

- ShrinkLockScope.java

```
// ロックスコープを小さくしたタスク
Runnable task2 = new Runnable() {
    public void run() {
        // 何か処理
        doSomething();

        synchronized(sharedObject) {
            // 共有オブジェクトに対する処理
            sharedObject.add(1);
        }

        System.out.println("Done.");
    }
};
```

（doSomethingがsharedObjectにアクセスしていない前提）sharedObjectにアクセスしている部分のみ、sharedObjectに対するロックを取得する。
同期化範囲が狭まって、ロックの争奪が減った。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ロックの粒度を小さくする（1）

- DivideLock.java

```
// 電波強度
private int denpa;
// バッテリー
private int battery;

public CellPhone() {
    this.denpa = 0;
    this.battery = 100;
}

public synchronized int getDenpa() {
    return denpa;
}
public synchronized void setDenpa(int denpa) {
    this.denpa = denpa;
}
public synchronized int getBattery() {
    return battery;
}
public synchronized void setBattery(int battery) {
    this.battery = battery;
}
```

各getter、setterは、インスタンスにロックをかける。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ロックの粒度を小さくする（2）

- DivideLock.java

```
public CellPhone6() {
    this.denpa = 0;
    this.battery = 100;
}

public int getDenpa() {
    synchronized(this.denpa) {
        return denpa;
    }
}
public synchronized void setDenpa(Integer denpa) {
    synchronized(this.denpa) {
        this.denpa = denpa;
    }
}
public int getBattery() {
    synchronized(this.battery) {
        return battery;
    }
}
public void setBattery(Integer battery) {
    synchronized(this.battery) {
        this.battery = battery;
    }
}
```

各getter、setterは、denpa変数、battery変数、それぞれにロックをかける。
denpaとbatteryは、それぞれ独立した状態のため、denpaの更新時、batteryにロックをかける必要がない。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ロックストライピング

- ロックストライピングによるロックの争奪が減るサンプルを見てみる。

- ConcurrentHashMap(int initialCapacity, float loadFactor, int concurrencyLevel)
  指定された初期容量、負荷係数、および並行処理レベルで、新しい空のマップを作成します。
  →第3引数concurrencyLevelが、内部の分割度合い（ストライピング）を表す。

- LockStripingを実行する。
  →concurrencyLevel 1→4のとき、特に実行性能が向上していることが分かる。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ホットフィールドを避ける（1）

- Map#sizeを実装することを考える。
  以下のどちらの実装方法が、ロックの争奪を減らせるか。

- (1) Map#sizeが呼ばれるたびに、要素数を数える。

- (2) Mapへの項目の追加／削除が行われるたびに、sizeフィールドを更新する。Map#sizeが呼ばれたら、sizeの値を返す。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - ホットフィールドを避ける（2）

- (2) Mapへの項目の追加／削除が行われるたびに、sizeフィールドを更新する。Map#sizeが呼ばれたら、sizeの値を返す。

→Mapへの項目の追加／削除のコストは（sizeフィールドの更新分だけ）増える一方、Map#sizeのコストはO(n)からO(1)になるため、一見性能改善したように思われる。

しかし、項目の追加／削除のたびに、sizeフィールドの排他制御が必要。こうしたフィールドのことをホットフィールドと呼び、ロックの争奪を減らすためには避けるべき。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - 排他ロックに代わるもの（1）

- ReadWriteLockを使う。

	読み込み ロック中	書き込み ロック中
読み込み ロックの取得	○	×
書き込み ロックの取得	×	×

ほとんど読み込みしかない（たまに書き込みする）場合は、ReadLockを使うことで、ロックの争奪を減らすことができる。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - 排他ロックに代わるもの（2）

- AtomicVariable.java

```
// synchronizedを使って並行で数を数えるクラス
private static class Counter {
    private int counter;
    public synchronized int increment() {
        counter++;
        return counter;
    }
    public void resetCounter() {
        this.counter = 0;
    }
}

// アトミック変数を使って並行で数を数えるクラス
private static class AtomicCounter {
    private AtomicInteger atomicCounter = new AtomicInteger();
    public int increment() {
        return this.atomicCounter.incrementAndGet();
    }
    public void resetCounter() {
        this.atomicCounter.set(0);
    }
}
```

アトミック変数クラスは、最新のプロセッサの多くが持っている低レベルの並行プリミティブ（compare-and-swap命令など）を使って実装されている。
→どちらが速いか、AtomicVariableを実行してみる。

実行性能の向上 - ロックの争奪を減らす - オブジェクトプールは使わない

- 新しいオブジェクトを作るよりも、オブジェクトプールから（スレッド間の同期を取って）オブジェクトを取得するコストの方が高くつくから。

ハンズオン２

- リクエスト数累計を表示するwebサーバを作成してください。
- リクエスト数の保持にはアトミック変数を使用してください。
- ヒント：handson2/FixedThreadPoolWebServerを流用すると容易に作成できると思われます。

まとめ

- デッドロックとその他生存事故
  - 生存性のエラーは回復の方法がなく、アプリケーションをアボートすることしかできないので、深刻な問題です。一番多いのはデッドロックです。プログラム全体にわたってオープンコールを使うよう設計することで、防止することができます。
- 実行性能
  - スレッドを使う一番の理由は、複数のプロセッサの有効利用です。コード中の直列に実行される部分の比率を下げることで、並行アプリケーションの実行性能が向上します。
    Javaプログラムの中で直列化の主な原因は、資源の排他的ロックです。
    ロックの保持時間を短くすることによって改善されます。

リソース

- ハンズオンソースコード
  https://github.com/taka2/MultiThreadHandsOn

- Java並行処理プログラミング ―その「基盤」と「最新API」を究める―
  ISBN: 978-4797337204