ソフトウェア工学 第10-12回
― ソフトウェアテスト ―

大連理工大学・立命館大学 国際情報ソフトウェア学部

大森 隆行

講義内容

- ソフトウェアテスト
  - 単体テスト
  - 統合テスト
  - システムテスト
  - 受け入れテスト・設置テスト
- ソフトウェア検証

ソフトウェアテスト

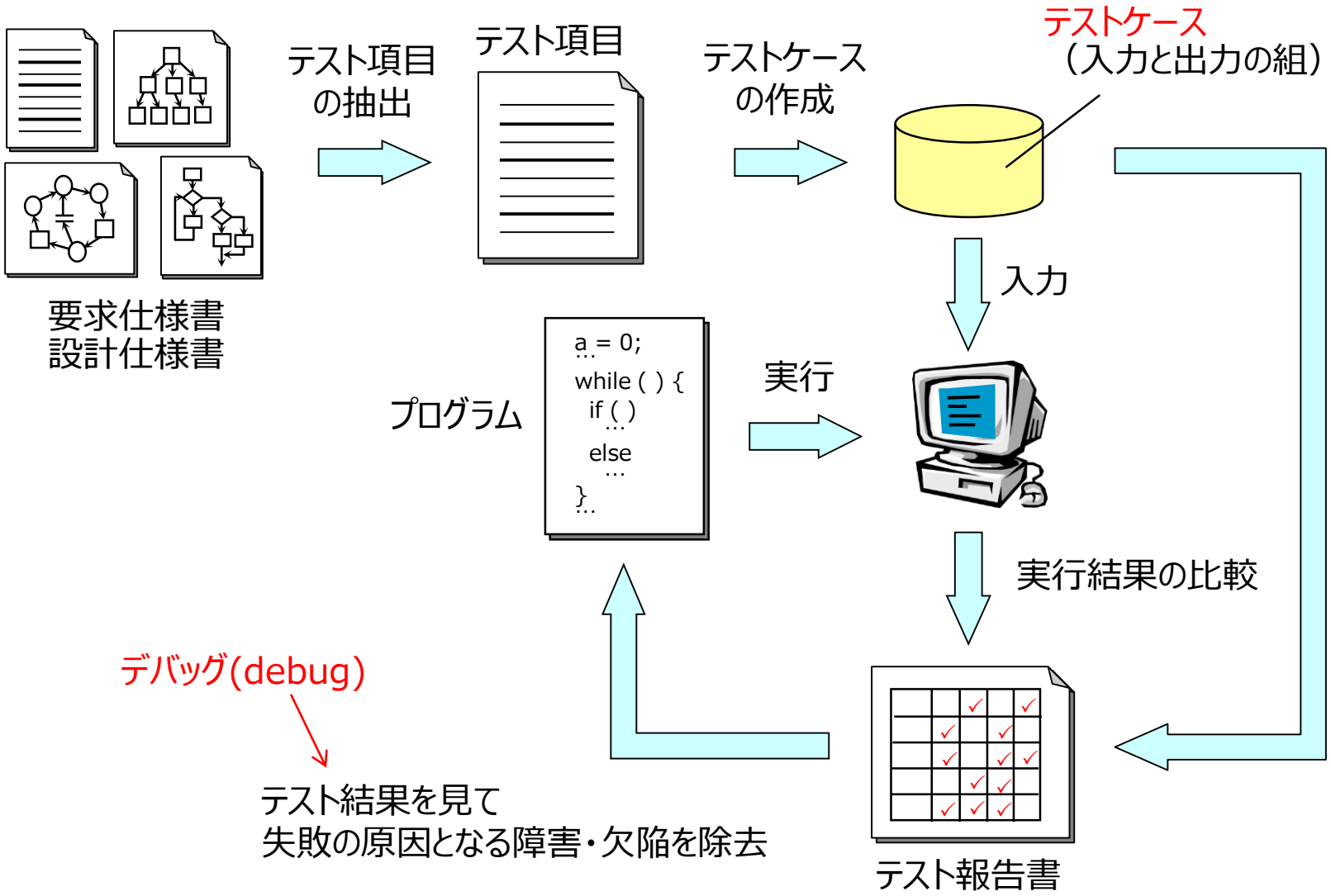
- ソフトウェアテスト
  - プログラムにテストデータを与えて実行し、
    その結果から開発中に紛れ込んだ誤りを検出する作業
- ソフトウェアテストに関する用語 (cf. JIS X0014-1999)
  - 誤り (error)
    - 計算、観測もしくは測定された値または状態と、
      真の、指定されたもしくは論理的に正しい値または状態との間の相違
      → 外部的な振る舞いとして、正しく動かないこと
  - 故障 (failure)
    - 要求された機能を遂行する、機能単位の能力がなくなること
      → 外部的な振る舞いとして、正しく動かなくなること
  - 障害 (fault)、欠陥(defect)、バグ(bug)
    - 要求された機能を遂行する機能単位の能力の、
      縮退または喪失を引き起こす、異常な状態
      → 障害は内部的に間違いがあるという状態
      → 障害が原因で故障や誤りが発生

※人間の過ちを誤りとする考え方もある。
この場合、誤りによって、故障や障害が発生すると言える。

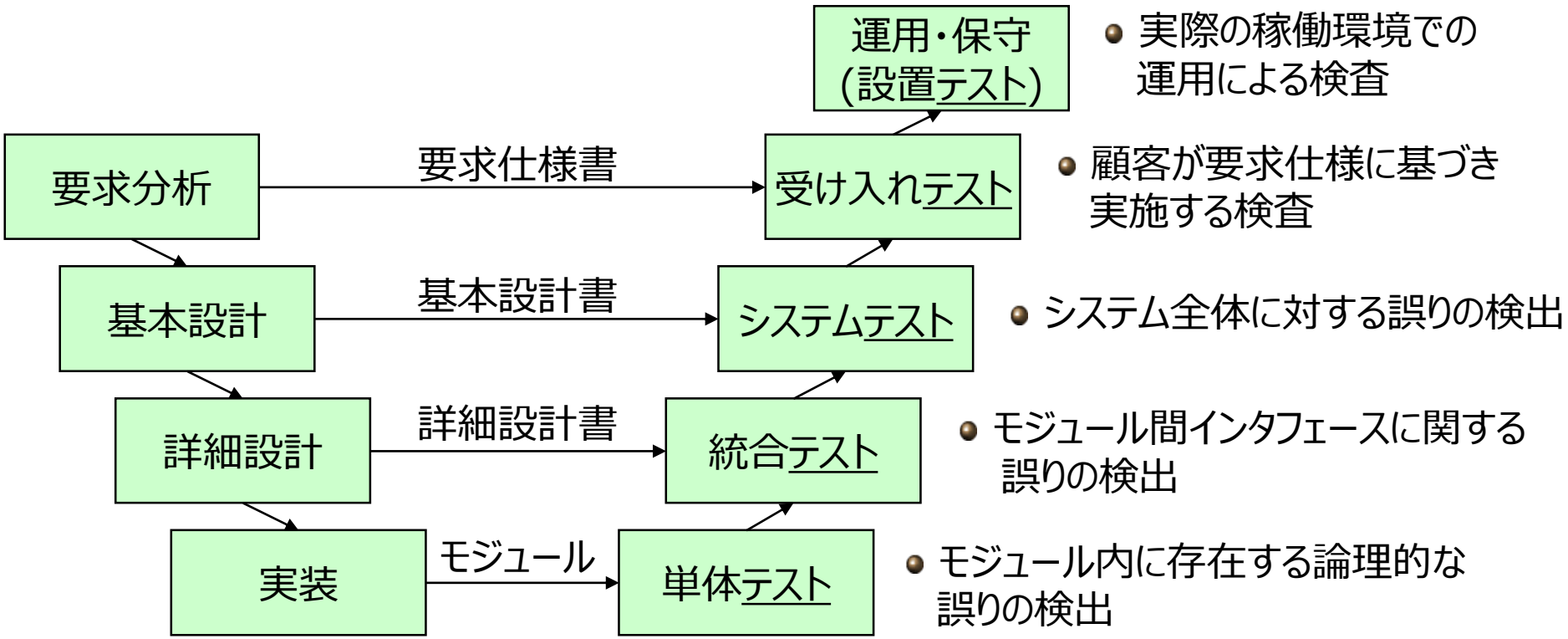
ソフトウェアテストの性質

- ソフトウェアに障害や誤りがないことを示すことはできない
  - ソフトウェアが正しく動作するというより、正しく動作しないことを示すために実施
- ソフトウェアの品質を向上させるには、テストのみでは不十分
  - 設計工程、実装工程で十分な品質になるように作り込んでおくことが必要

ソフトウェアテストの作業



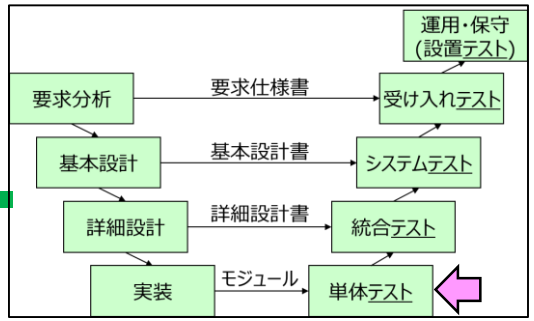
テスト工程 (V字モデル)


運用・保守
(設置テスト)
実際の稼働環境での
運用による検査
要求分析
要求仕様書
受け入れテスト
顧客が要求仕様に基づき
実施する検査
基本設計
基本設計書
システムテスト
システム全体に対する誤りの検出
詳細設計
詳細設計書
統合テスト
モジュール間インタフェースに関する
誤りの検出
実装
モジュール
単体テスト
モジュール内に存在する論理的な
誤りの検出

講義内容

- ソフトウェアテスト
  - 単体テスト
  - 統合テスト
  - システムテスト
  - 受け入れテスト・設置テスト

単体テスト



- 単体テスト (unit test)
  - モジュール内部に存在する誤りを検出

(a) ブラックボックステスト (black-box test)

- テストデータを与えて、実行結果を観察することで誤りを検出
- プログラムの外部仕様（機能、振る舞い）に着目
- 代表的な技法：同値分割、境界値分析、原因結果グラフ

(b) ホワイトボックステスト (white-box test)

- テストデータを与えて、実行の様子を追跡することで誤りを検出
- プログラムの内部仕様（構造や論理）に着目
- 制御の流れに基づくテスト網羅
- 代表的な技法：論理網羅

同値分割

- プログラムの入力値の領域を、機能仕様の入力条件を満たす範囲（有効同値クラス）と満たさない範囲（無効同値クラス）に分割
  - 同値クラス：プログラムが同じ動作をする入力値の範囲や種類

（例）

入力条件	有効同値クラス	無効同値クラス
文字数	4以上8以下	3以下、9以上
文字の種類	英字と数字の組合せ	英字のみ、数字のみ
先頭文字	英字	数字

- 手順

(1) すべての有効同値クラスに属する入力データを作成

(2) 1つの無効同値クラスと残りの有効同値クラスに属する入力データを作成

（例）amku5ge, X123

（例）xy3 (3文字),
xyxyxyxy9 (9文字),
abcdef (英字のみ),
123456gh (先頭が数字),
(数字のみは先頭が数字に包含)

境界値分析

- 入出力条件の境界値を詳しくテストするテストケースを作成
  - テストケース(test case)：プログラムのテストのために入力する値と想定される出力値の組
  - 境界値やその付近の値を入力データとする
  - 経験的に、多くの誤りが境界値付近で発生
    - 不等号(<と<=, >と>=)の書き間違い等
- 手順
  - (1) 入出力条件の識別

(例)

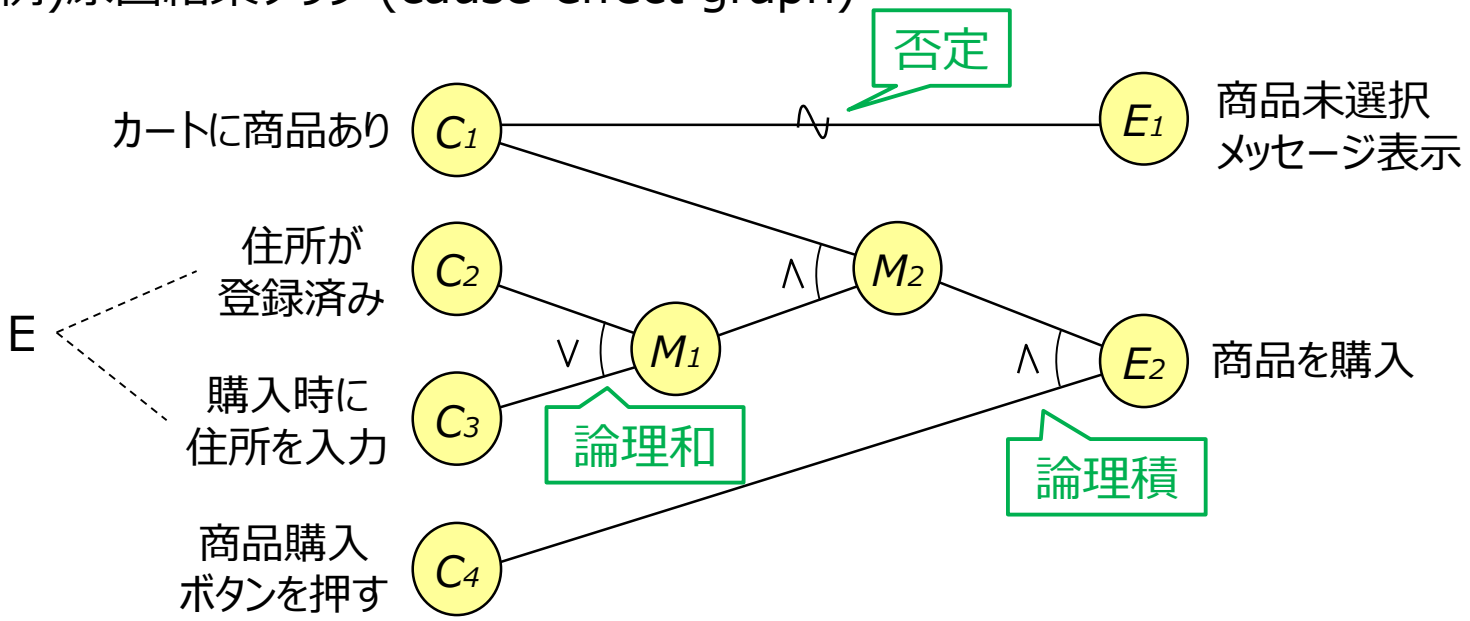
条件	1から64の数字
境界	1, 64

  - (2) 境界に基づくテストケースの作成
    - (例) 0, 1, 64, 65

原因結果グラフ(cause-effect graph)

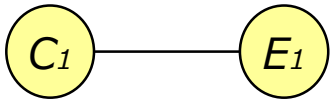
- 原因（入力）と結果（出力）の因果関係に着目し、テストケースを作成
  - 因果関係は原因結果グラフで表現
  - 原因結果グラフから決定表を作成

(例)原因結果グラフ (cause-effect graph)

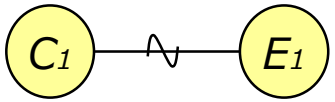


原因結果グラフ

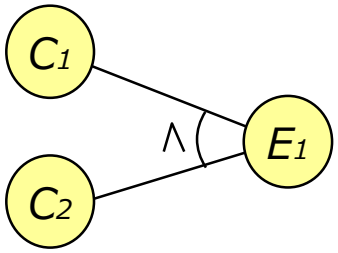
(a) 肯定(C_1であればE_1)



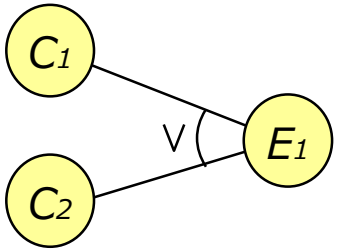
(b) 否定(C_1でなければE_1)



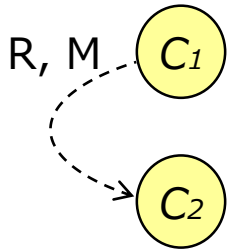
(c) 論理積(C_1かつC_2であればE_1)



(d) 論理和(C_1またはC_2であればE_1)

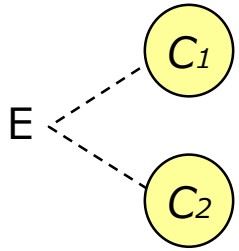


(e) 必要(R), マスク(M)



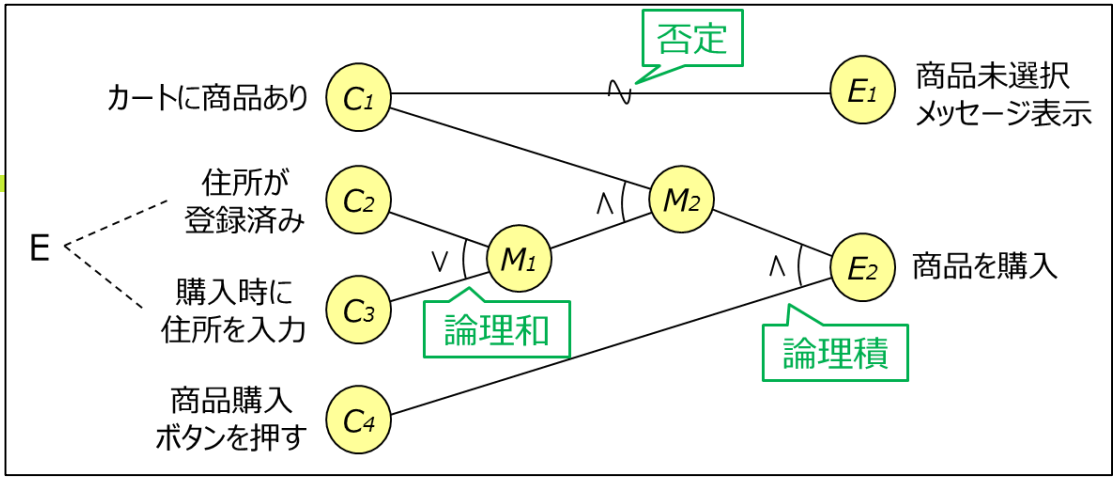
R (require): 一方が成立すれば他方も成立
M (mask): 一方が成立すれば他方は不成立

(f) 排他的論理和(E), 包含(I), 1つのみ(O)



E (exclusive): 同時には成立しない
I (include): 少なくとも一方は成立
O (only one): 常に一つだけ成立

決定表



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
原因	C1（カートに商品あり）	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○
	C2（住所が登録済み）	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	○	○
	C3（購入時に住所を入力）	×	×	○	○	×	×	×	×	○	○	×	×
	C4（商品購入ボタンを押す）	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○
補助	M1（住所を入力済み）	×	×	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○
	M2（購入可能）	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
結果	E1（商品未選択）	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
	E2（商品を購入）	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○

- C2∧C3の場合は(排他関係なので)考慮しない
- 決定表に基づいて入出力をチェック

確認問題

- 以下の各文が正しいかどうかを答えよ。
  - ソフトウェアテストは、ソフトウェアに障害や誤りがないことを証明するために行う。
  - 単体テストでは、特にモジュール間のインタフェースの誤りに関してテストを行う。
  - ホワイトボックステストではモジュールの内部仕様に着目してテストデータを作成する。
  - ブラックボックステストではモジュールの内部仕様に着目してテストデータを作成する。

確認問題

- 下記のような入力条件を持つモジュールに対して、同値分割に基づく単体テストを実施する。下の(1)～(5)の各入力は、右下に示した選択肢の説明のうち、どれに該当するかを答えよ。

入力条件	有効同値クラス	無効同値クラス
文字数	4以上8以下	3以下、9以上
文字の種類	英字と数字の組合せ	英字のみ、数字のみ
先頭文字	英字	数字

- (1) DL4
- (2) 678
- (3) qwerty98
- (4) 55RITS
- (5) A12345678

- 選択肢
  - 1. 手順(1)の「すべての有効同値クラスに属する入力データ」に該当
  - 2. 手順(2)の「1つの無効同値クラスと残りの有効同値クラスに属する入力データ」に該当
  - 3. それ以外

確認問題

- (1) int型の引数xが0以上の場合にtrue、そうでない場合にfalseを返す関数がある。境界値分析に基づき、この関数の単体テストを行う。テストケース2通りを与える場合に最適な入力値の組を答えよ。
- (2) int型の引数yを入力値とする関数がある。この関数は、yが4で割り切れる場合はtrueを返す(それ以外の場合はfalse)。ただし、例外として、入力値が100で割り切れ、400で割り切れない場合はfalseを返す。この関数について、入力(原因)と出力(結果)の関係を下のような決定表としてまとめよ。

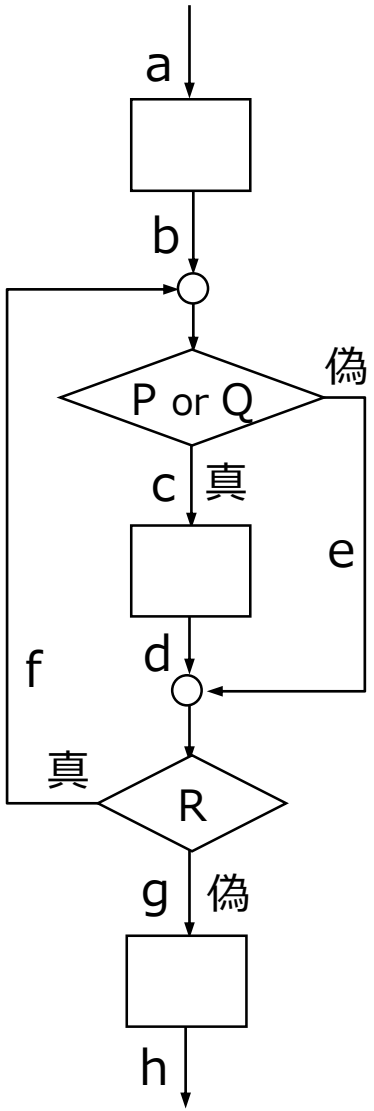
原因	4で割り切れる				
	100で割り切れる				
	400で割り切れる				
結果	trueを出力				
	falseを出力				

論理網羅

- カバレッジ基準
  - 命令網羅(文網羅)
    - プログラム中のすべての文を1回以上実行
  - 分岐網羅
    - プログラム中のすべての分岐を1回以上実行
  - 条件網羅
    - プログラム中の分岐に関連する全ての条件判定を少なくとも1回は実行
  - パス網羅
    - プログラム中のすべての実行パス(経路)を実行
- テストにかけられる工数、求められる品質に応じて、どの基準でどの程度の網羅率を達成するか検討する

命令網羅

- C0, statement coverage
- プログラム中のすべての文を1回以上実行
  - (例) P or Qが真、Rが偽 (パスabcdgh)
- 網羅率
  - 実行した文 / 全文



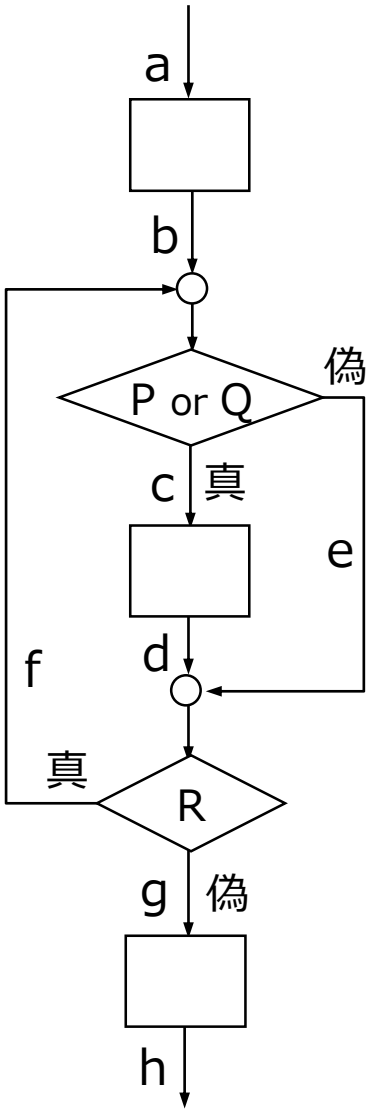
パス(path)＝経路

分岐網羅

- C1, edge coverage
- プログラム中のすべての分岐を1回以上実行
  - (例) Pが真、Qが偽、Rが真 (パスabcdf)
    Pが偽、Qが偽、Rが偽 (パスabegh)
    → 分岐網羅はできている

    → しかし、Qが真の場合のテストが抜けている (→条件網羅も必要)

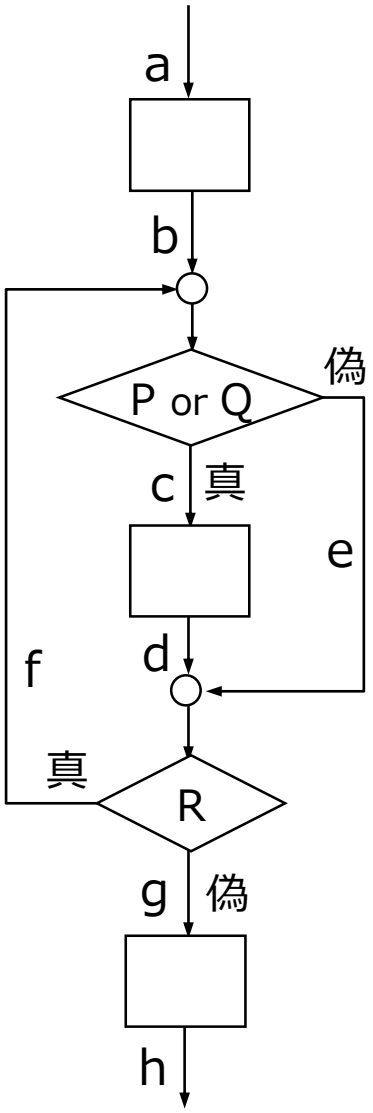
- 網羅率
  - 通過した枝 / 全枝



条件網羅

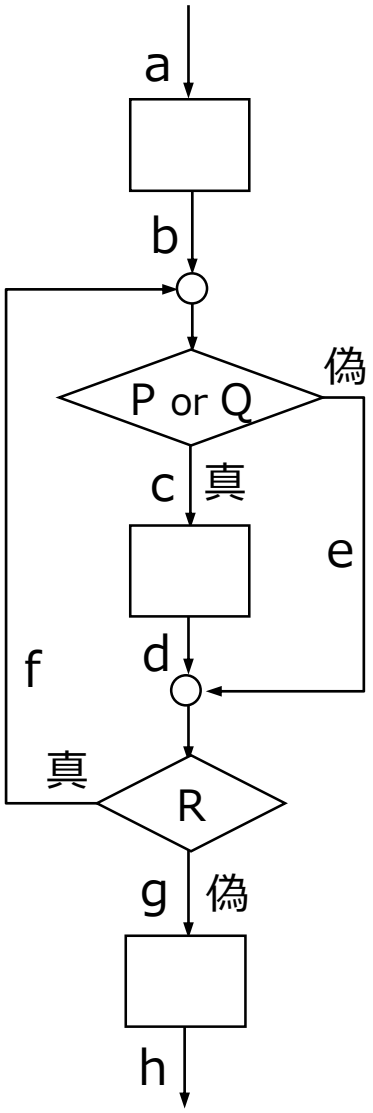
- C2, condition coverage
- プログラム中の分岐に関連する
  各条件判定について、真偽を
  少なくとも1回は取るように実行
  - 右図の例だと、Pが真、Pが偽、
    Qが真、Qが偽、Rが真、Rが偽の場合を
    網羅すればOK
  - (例) Pが真、Qが偽、Rが真 (パスabcdf)
    Pが偽、Qが真、Rが偽 (パスabcdgh)
    → P,Q が偽：パス e のテストが抜けている

    (条件網羅でも不十分な場合はある)
- 網羅率
  - 実行した条件判定結果の数の合計
    / 各条件が取り得る結果の数の合計



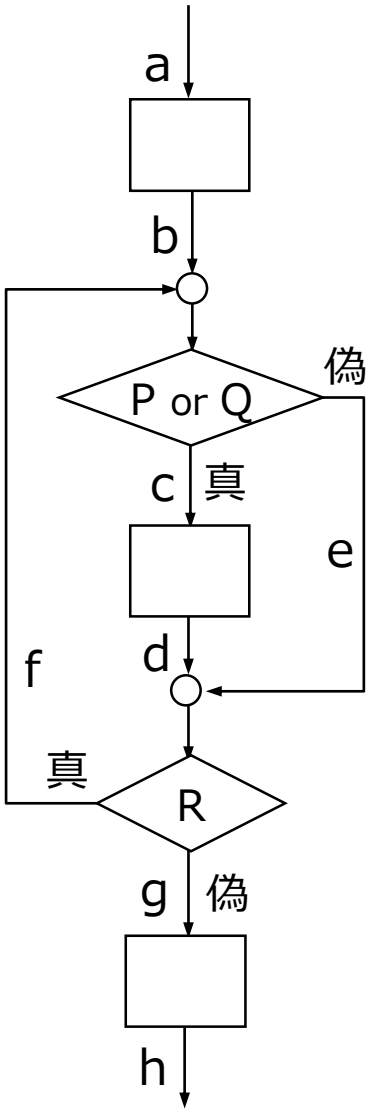
分岐/条件網羅

- branch/condition coverage
- 分岐網羅＋条件網羅
  - (例) Pが偽、Qが偽、Rが偽 (パス abegh)
    Pが真、Qが偽、Rが偽 (パス abcdgh)
    Pが偽、Qが真、Rが真 (パス abcdf)
    → PとQが真の場合？



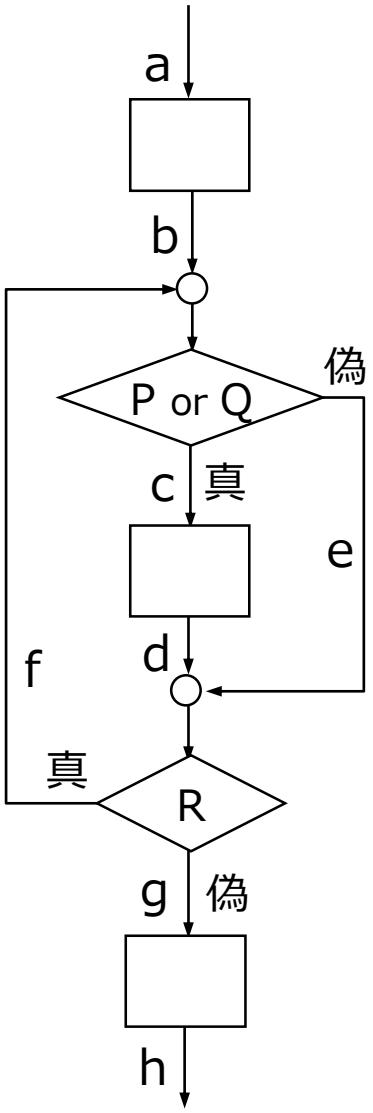
複数条件網羅

- multiple condition coverage
- すべての条件判定の真偽の組み合わせ
  - (P, Q, R)=(真, 真, 真), (真, 真, 偽),
    (真, 偽, 偽), (真, 偽, 真),
    (偽, 真, 真), (偽, 真, 偽),
    (偽, 偽, 偽), (偽, 偽, 真),
- 網羅率
  - 実行した真偽の組み合わせ
    / すべての組み合わせ



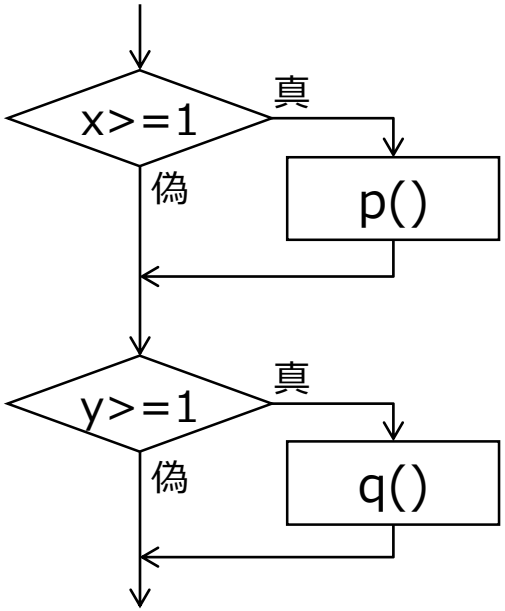
パス網羅

- path coverage
- プログラム中のすべての実行パス(経路)を実行
  - 条件間の依存関係を考慮
  - (例) abcdgh
    + abcdfcdgh
    + abegh
    + abefcdgh
    + abcdfegh + ...(無限に存在)
- 網羅率
  - 実行したパス / 全パス
- 通常、パス網羅100%は要求されない



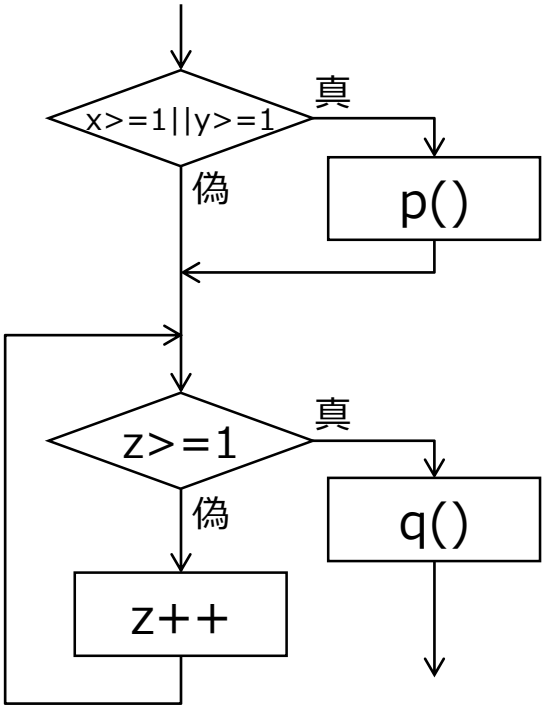
確認問題

- 右のフローチャートに示すような挙動のプログラムがあるとする。以下のような入力の組を与えるとき、それぞれの場合に、命令網羅、分岐網羅、条件網羅、パス網羅を満たすか(網羅率100%となるかどうか)どうか答えよ。
  - (1) (x, y)=(0, 0)
  - (2) (x, y)=(1, 1)
  - (3) (x, y)=(0, 1), (1, 0)
  - (4) (x, y)=(0, 0), (1, 1)
  - (5) (x, y)=(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)



確認問題

- 右のフローチャートに示すような挙動のプログラムがあるとする。以下のような入力の組を与えるとき、それぞれの場合に、命令網羅、分岐網羅、条件網羅、パス網羅を満たすか(網羅率100%となるかどうか)どうか答えよ。
  - (1) (x, y, z)=(0, 1, 0)
  - (2) (x, y, z)=(0, 0, 0), (0, 1, 0)
  - (3) (x, y, z)=(0, 0, 0), (0, 1, 0), (1, 0, 0)



JUnit

- Javaプログラムの単体テスト自動化のための
  フレームワーク
  - 単体テスト実行の自動化
    - テストコードの記法を規定
    - テスト用のAPI提供

- 参考：他の言語用のフレームワークもある
  → e.g., CUnit(C言語用), CppUnit (C++用)

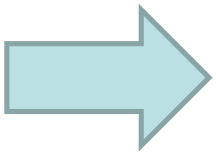
JUnit実用例

```java
package testsample;

public class Sample {
    public static int div(int x, int y){
        return x/y;
    }
}
```

除算プログラム

入力	出力
4, 2	2
11, 3	3
4, -2	-2
1, 0	例外
…	…

テストケース

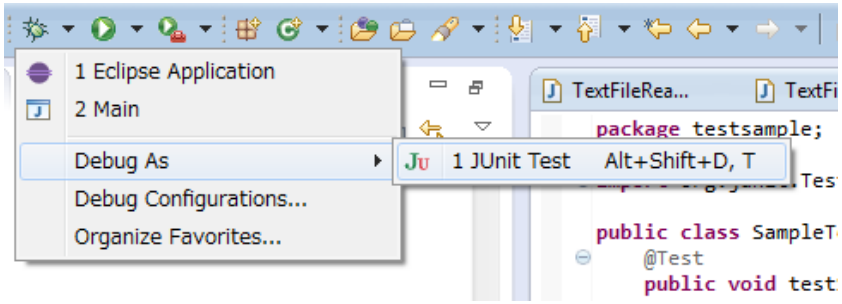


```java
package testsample;

import org.junit.Test;

public class SampleTest {
    @Test
    public void testSample1(){
        int a = Sample.div(4, 2);
        assertEquals(a, 2);
    }

    @Test
    public void testSample2(){
        int a = Sample.div(11, 3);
        assertEquals(a, 3);
    }

    @Test
    public void testSample3(){
        int a = Sample.div(4, -2);
        assertEquals(a, -2);
    }

    @Test
    public void testSample4(){
        try{
            Sample.div(1, 0);
        }catch(ArithmeticException e){
            return;
        }
        fail();
    }
}
```

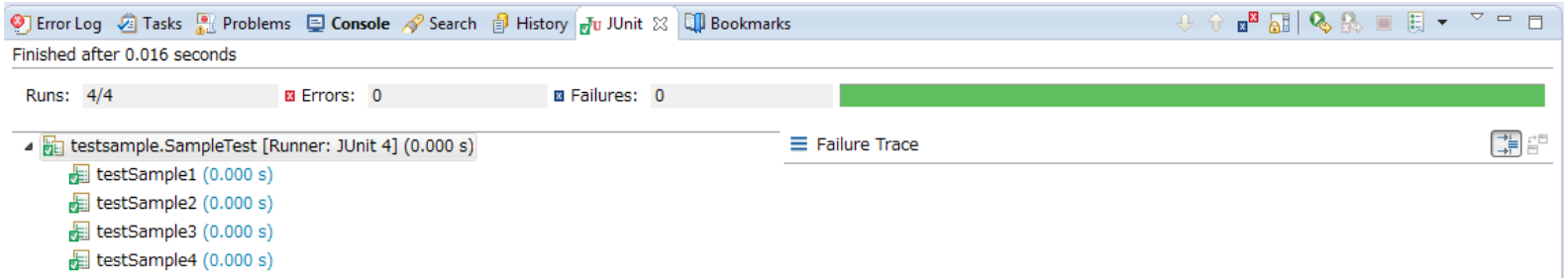
アサーション
(assertion)

テストコード

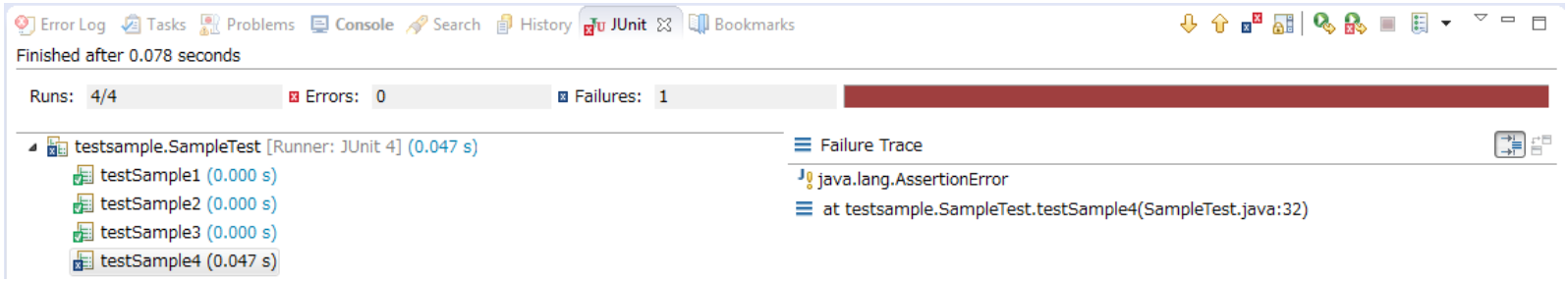
JUnit実用例



OK



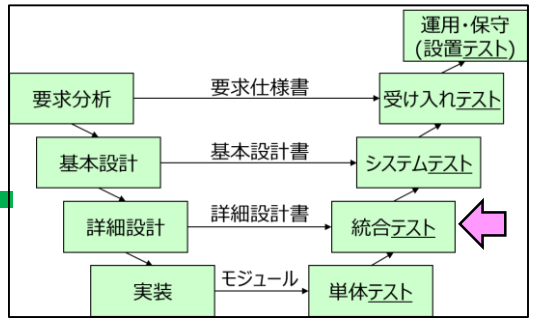
エラー



講義内容

- ソフトウェアテスト
  - 単体テスト
  - 統合テスト
  - システムテスト
  - 受け入れテスト・設置テスト

統合テスト



- 統合テスト(integration test) =結合テスト
  - 複数のモジュールを組み合わせてテストを実施
  - モジュールのインタフェースに関するエラーを検出

(a)ボトムアップテスト(bottom-up test)
- モジュール構成図の最下位モジュールからテスト開始

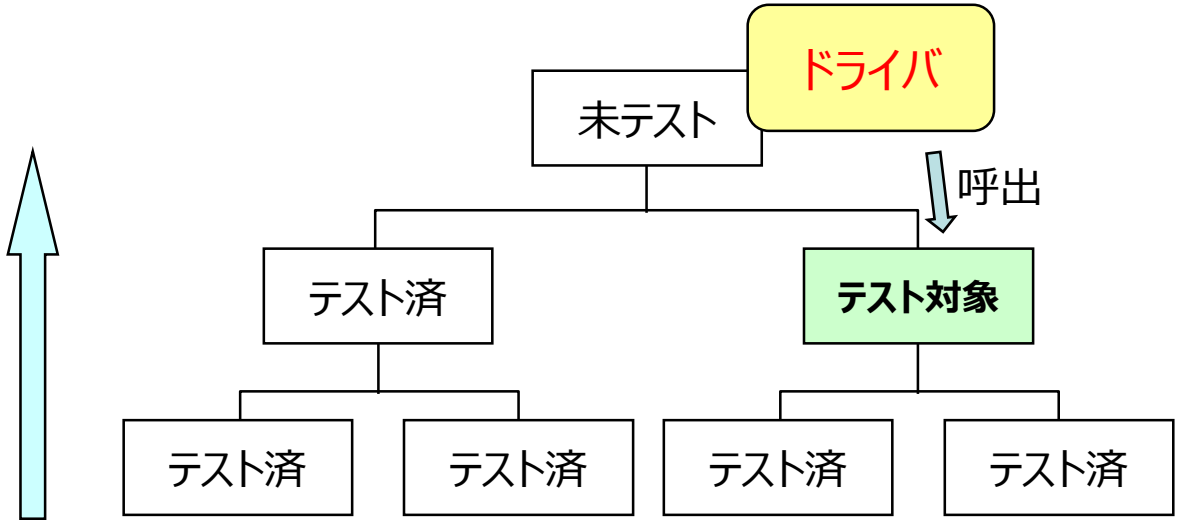
(b)トップダウンテスト(top-down test)
- モジュール構成図の最上位モジュールからテスト開始

(c)混合テスト(mixed integration)/サンドイッチテスト(sandwich test)
- ボトムアップテストとトップダウンテストの統合
- 基本的にはトップダウン
  - スタブの作成が困難な部位や、下位に存在する重要な部分に対してのみボトムアップで行う

(d)ビッグバンテスト(big-bang test)
- すべての構成要素を単独でテスト後、一斉に統合してテスト
- 小規模な開発等の場合に適用

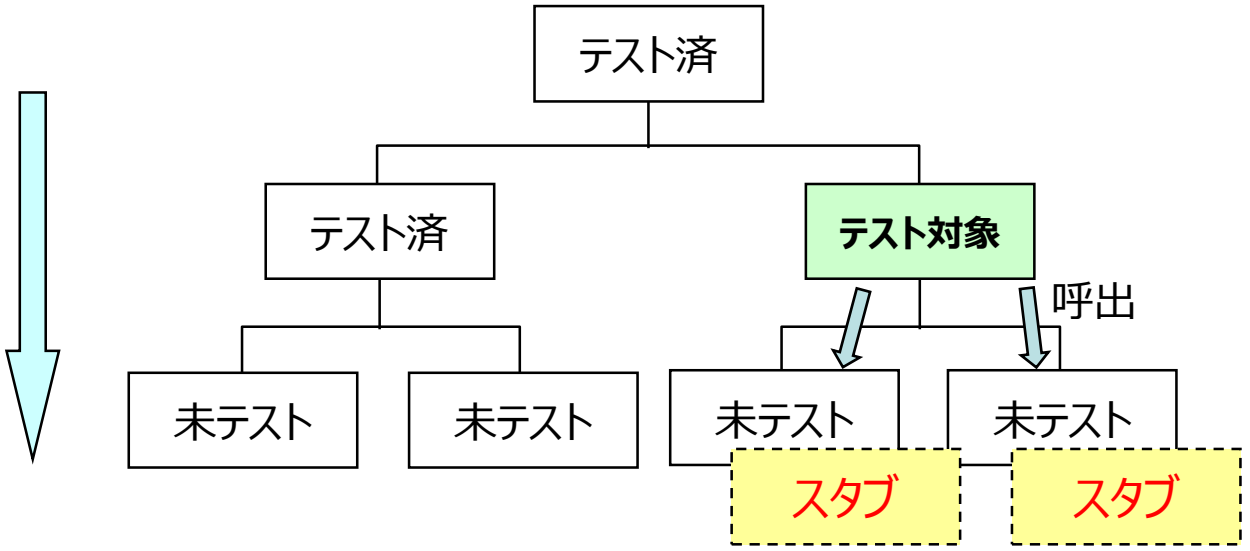
ボトムアップテスト

- モジュール構成図の最下位モジュールからテスト開始
- ドライバ（仮の呼び出しモジュール）が必要
- 長所：初期段階から並行して数多くのモジュールをテスト可能
- 短所：上位でエラーが見つかると大幅な再修正が必要



トップダウンテスト

- モジュール構成図の最上位モジュールからテスト開始
- スタブ（仮の被呼び出しモジュール）が必要
- 長所：インタフェースの誤りを早期に発見可能
- 短所：テストの初期段階で作業の並列化が困難



確認問題

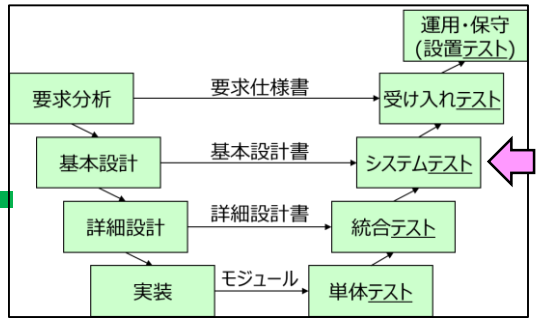
- 以下の説明に合う語を下の語群から選べ。
  - (1) Javaプログラムの単体テスト自動化のための フレームワーク
  - (2) モジュール構成図の最下位モジュールから テストを行う統合テストの技法。
  - (3) モジュール構成図の最上位モジュールから テストを行う統合テストの技法。
  - (4) (2)のテストにおいて用いる仮の呼び出し モジュール。
  - (5) (3)のテストにおいて用いる仮の被呼び出し モジュール。

語群：
JUnit　Git　ボトムアップテスト　トップダウンテスト
ドライバ　ナビゲータ　スタブ

講義内容

- ソフトウェアテスト
  - 単体テスト
  - 統合テスト
  - システムテスト
  - 受け入れテスト・設置テスト

システムテスト



- システムテスト(system test)
  - システム全体の振る舞いを確認
  - 実際の稼働環境にできるだけ近い環境を構築
  - 基本設計仕様書に記述された機能や性能が実現できているか検査

- 機能テスト (functional test)
  - システムの機能が正しく動作するか検査
- 性能テスト (performance test)
  - 非機能要求の評価
  - 過負荷テスト、容量テスト、互換性テスト、セキュリティテスト、タイミングテスト、回復テスト、ユーザビリティテスト等

様々な性能テスト

※各性能テストの呼び方はいろいろあります

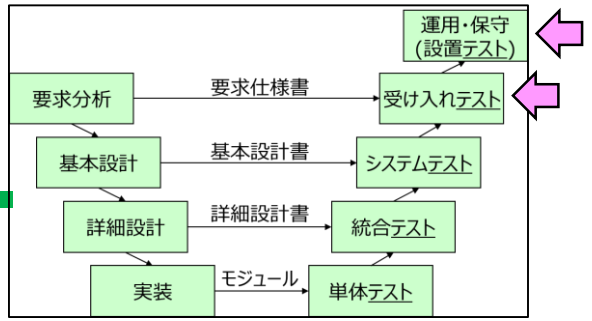
- 過負荷テスト (stress test)
  - 同時接続するユーザの人数を上限まで増やすなど、システムに負荷をかけた場合のテスト
- 容量テスト (volume test)
  - プログラムが大量のデータを扱う場合のテスト
- 構成テスト (configuration test)
  - 様々なハードウェア・ソフトウェアの構成に関してテスト
- 互換性テスト (compatibility test)
  - 他のシステムとのインタフェースに関するテスト
- セキュリティテスト (security test)
  - セキュリティ要求が満たされるかテスト
- タイミングテスト (timing test)
  - リアルタイムシステムやネットワークシステムなど、時間に関連して動作する部分をテストする

様々な性能テスト

※各性能テストの呼び方はいろいろあります

- 環境テスト (environmental test)
  - 物理的な設置場所に関するテスト(温度、電力、磁界等)
- 品質テスト (quality test)
  - 信頼性等の品質に関するテスト。システムの故障しにくさ等
- 回復テスト(recovery test)
  - システムに障害、故障が起きた際に正常に回復するかテストする
- 保守テスト(maintenance test)
  - 保守のしやすさに関するテスト。診断ツールの必要性・挙動等
- 文書化テスト (documentation test)
  - 関連文書が正確で読みやすいか
- ユーザビリティテスト(usability test)
  - UI要求に関するテスト
  - ヒューマンファクタテスト (human factors test)とも呼ぶ

受け入れテスト、設置テスト

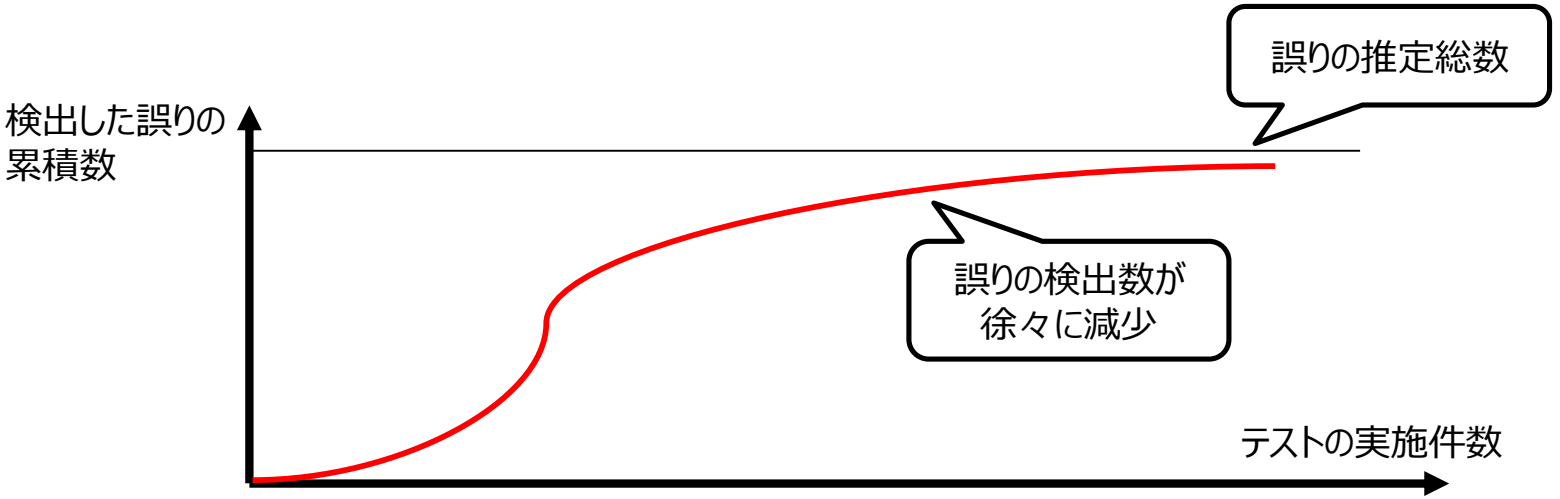


- 受け入れテスト
  - 顧客や利用者が要求仕様書に基づき実施
  - 受け入れテスト用の環境を準備
  - 利用者が特定できない場合(大衆向けソフト等)、開発者が利用者の立場に立って実施

- 設置テスト
  - 実際の稼働環境にシステムをインストールして実施

信頼性成長モデル

- 信頼性成長曲線
  - テストの初期段階では多くの誤りが検出
  - テストの実施件数が多くなると、誤りの累積数が収束
  - 誤りの累積数が収束しない
    →モジュールが大量の誤りを含む
    → 単体テストからやり直し
  - 検出される誤りが増加しない
    - テストケースが不適切な可能性大



ソフトウェア検証

- ソフトウェア検証
  - ソフトウェアに誤りが存在しないことを確認する作業
    (⇔ソフトウェアテストでは誤りがあることを確認)
  - プログラムだけではない
    (仕様やその他文書に誤りがないことを確認する必要)
- 検証の観点
  - 妥当性
    - ソフトウェアが利用者の要求を満たしているか
  - 正当性
    - 与えられた仕様に対して、プログラムが正しく実装されているか
    - 論理、代数、集合論等の数学に基づく形式的手法を用いるのが一般的
    - 部分正当性と停止性から成る
      - 部分正当性：「プログラムが停止すれば、事後条件が成り立つ」という性質
      - 停止性：「プログラムが必ず停止する」という性質

検証技法

- レビュー(review)
  - 成果物(ソースコード、要求仕様、設計仕様等)の内容を精査
  - プログラムの実行はしない
  - レビューを組織化したものに
    インスペクションとウォークスルーがある
- インスペクション(inspection)
  - 事前に検査項目(プログラムのどの部分か、どの品質特性に着目するか等)を決定しておき、各検査項目に関して実際の動作と照合することで、誤りを指摘
  - 会議形式で実施
- ウォークスルー(walk-through)
  - ソフトウェアの起動から終了までの流れを机上で確認

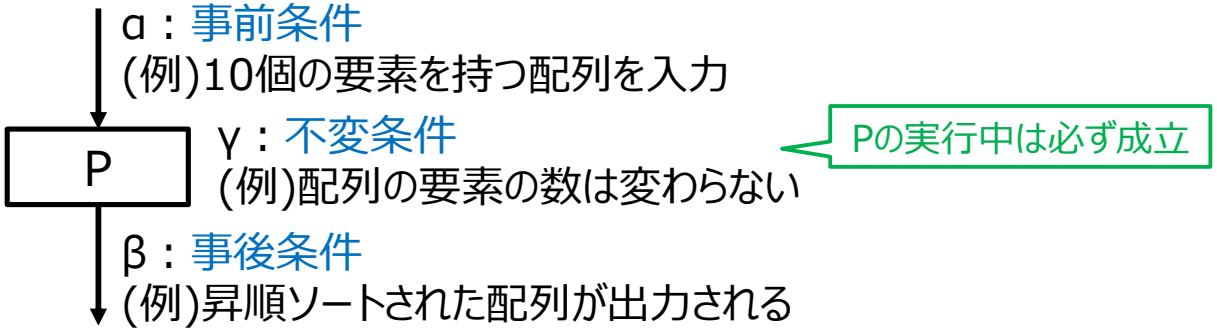
NOT using computer

検証技法 - 静的型検査

- 型 (type)
  - プログラミング言語処理系では、
    変数や式の取りうる値を規定するもの
    - int x;　変数xの値は-2147483648から2147483647の整数
    - boolean p;　変数pの値は真(true)か偽(false)
- 型検査 (type checking)
  - 型に関して不適切な演算や操作が行われることがないプログラム
    ＝ 型安全なプログラム かどうかを検査
    - 1+2： 型安全である（int型とint型の加算）
    - 1+true： 型安全でない（int型とboolean型の加算）
  - 型安全でないプログラムは実行時エラーを引き起こす可能性あり
  - 型推論(type inference)を利用してプログラム実行前に
    実行時エラーの可能性を発見

検証技法 - 帰納表明法

- プログラムの部分正当性を表明
- プログラムの意味を、
  事前条件、不変条件、事後条件により捉える
- 条件間に成立する論理的関係を、定理証明器により
  証明することでプログラムの正しさを検査



ソート(並べ替え)プログラムの検証条件例

確認問題

- 以下の説明に合うテストの名称を答えよ。
  - システム全体の振る舞いを確認するため、実際の稼働環境にできるだけ近い環境を構築して行うテスト。
  - テスト用の環境を準備し、顧客や利用者が要求仕様書に基づいて実施するテスト。
  - 実際の稼働環境にシステムをインストールして実施するテスト。
- 以下の文は正しいか。○か×で答えよ。
  - 一般的に、テストを行っても全く誤りが見つからない場合、そのソフトウェアの品質は十分に高いと考えられる。
  - ソフトウェア検証では、プログラムが停止することを確認できれば十分である。

参考文献

- 「ソフトウェア工学」
  高橋直久、丸山勝久 著、森北出版、2010
- 「ソフトウェア工学 理論と実践」
  シャリ・ローレンス・プリーガー 著、堀内泰輔 訳、
  ピアソン・エデュケーション、2001
- 「この1冊でよくわかるソフトウェアテストの教科書」
  石原一宏、田中英和 著、ソフトバンククリエイティブ、2012
- 「JUnit実践入門」
  渡辺修司 著、技術評論社、2012
- 「ずっと受けたかったソフトウェアエンジニアリングの授業2
  増補改訂版」鶴保征城、駒谷昇一 著、翔泳社、2011