

ISO で開発したトランスポートプロトコルの 適合性試験スイートの質の評価

若 杉 忠 男[†]

ISO で開発された OSI 適合性試験の品質の評価を、トランスポート層の試験スイートを対象に考察する。ここで考察する適合性試験とは、本質的には適合性を保証できる品質の程度と試験にかかる費用とのバランスの選択問題であると考えてテストカバレッジと試験項目数との関係を検討する。ここで品質とは、各パスの長さ別のカバレッジ、試験項目のフォールト発見能力、必要度などである。まずトランスポートプロトコルについて、長さ L のパスの個数を P_L とし、数列 $\{P_L\}$ で状態遷移図を表現し、これで状態遷移図の複雑さを表す。また試験項目についても同様にパスで表現し、状態遷移図のパスのうちどれだけをカバーしたかによってフォールト発見能力とする。また、長さ L の試験項目 n_L とそれにカバーされたパス p_L の間に、 $n_L = E \times p_L$ という比例関係があると仮定し、トランスポートの各クラスについて比例定数 E や各 P_L のカバレッジ C_L を求める。これにより試験項目数 n の近似式を作成し妥当な結果を得た。さらに充足率という評価指標を定義してトランスポートのクラス別評価点を求めた。また比例定数 E はパスのバリエーションの程度を表し、試験のていねいさを示すと考え、具体的にその内容を考察した。

Estimation of Quality of Conformance Test Suites of Transport Protocols Developed by ISO

TADAO WAKASUGI[†]

Concerning OSI transport conformance test suites developed by ISO, relations between quality of testing and the numbers of necessary test cases are studied. Conformance test suites developed by ISO is, in some meanings, a through testing rather than a exhaustive testing, and it is a balancing problem between quality and cost of testing. Here quality means fault detectability, necessity, coverage of test cases and so on. Firstly, the numbers of paths of length L of states transition diagrams are analysed. A formula $n_L = E \times p_L$ is assumed, where n_L is the number of test cases of length L , E is a proportional constant, and p_L is the number of paths covered by test cases of length L . For each class of the test suites, the coverage of P_L and constant E are calculated, and good estimation of the number of test cases are obtained. Additionally, using this method, sufficiency rate of necessity of test cases is calculated, and it is said that the quality of the test suites are about 54 points. These points are seemed to be the lowest passing marks of the through testing.

1. 問題の背景と課題

OSI では情報伝送プロトコルの国際的な標準化を目指し、公的試験機関による製品の適合性試験を推進している。適合性試験のガイドラインである IS9646¹⁾ では、適合性試験は相互接続性を完全に保証するものではないと明記している。実際、IS9646 では抽象的試験手法の 1 つとして R 法を採用しているが、これは制御観測点がテスト側にしかないというもので、結果を判定できる能力は限られている。このような方法の

使用を認めているということは、現状では完全な試験は不可能と考えていることを示す。

IEEE の標準化推進団体である POSIX では、適合性試験について Exhaustive テスト、Through テスト、Identification テストというレベル分けをしている。Exhaustive テストは完全な網羅試験で、Through テストはひとつおりの機能を試験するが、完全な条件の組合せ試験まではしないものである²⁾。

この 2 つの試験について、トランスポートクラス 2 の試験項目を自動生成した例があり³⁾、網羅試験のイベント数が 272 件に対して、徹底試験は 3920 件となっており、その差は 10 倍以上である。また ISO で作成したトランスポートの試験目的の数は 275 件で⁴⁾

[†] 若杉情報技術コンサルタントオフィス
WAKASUGI Information Technology Consultant Office

あるのに対して、実装製品を開発している各メーカーでは、出荷までに ISO 開発の適合性試験項目の数倍ないし 10 倍もの試験項目を実施していると聞いており、これらが Exhaustive テストと Through テストの差と考えられる。

現時点で、公的機関では相互接続性の完全な保証は技術的にも経済的にもできないとすれば、公的機関の検定試験としての目標とレベルを明確にする必要がある。本論文は、上記の課題に対する一考察を示したものである。

まず目標を次のように設定する。

- (1) 試験の質とコストのバランス関係を考察する。すなわち、試験項目件数をどの程度にすればどの程度の確実さが得られるかを考える。
- (2) そのために試験スイートの試験品質の客観的な評価方法を考える。
- (3) 上記の考察結果を ISO で開発したトランスポートの適合性試験スイートに適用する。ただしここでの検討対象には、間違っただけのデータを故意に入力して被試験体の反応を見る試験項目は含まない。

2. FSM システムの試験の考え方

トランスポートプロトコルのような通信システムは、一般に FSM で表現され、状態遷移図や状態遷移表で記述して考察される。プロトコル実装製品はソフトとハードからなるので、ソフトまたはハードだけの試験とは違う問題を含む。特に適合性検証試験はブラックボックス試験なので制約が多い。

このようなシステムでは状態遷移図のすべてのリンクが正しく動作することを確認すればよいと考えられているが^{5),6)}、そのためには、

- (1) 目指すリンクのスタート状態 (A とする) に確実に制御を持って行き、
- (2) 入力情報を与え、
- (3) 生ずる出力が所期のものであることを確認し、
- (4) 生じた遷移の結果、到達した状態 (B とする) が所期のものであることを確認する

ということを行う。

しかしブラックボックス試験であるからこれらの確認は簡単ではない。たとえば (3) の出力がないとか、出力があっても外部から観測できない場合もある。また (4) の到達状態 B の確認作業は難しい。その確認には B に遷移後、引き続いて何個かの遷移を実施し、それが B から予期される遷移と一致することを確認し、かつ “B 以外から予期される遷移” とは一致しな

いということを確認する。これをここで “理論的な方法” と呼ぶ。

A から B に行くトランジションを $A \rightarrow B$ と表すと、 $A \rightarrow B$ の正しさは $A \rightarrow B$ だけを試験したのでは不十分である。 $A \rightarrow B$ のほかに $C \rightarrow B$ というトランジションがあれば、 $A \rightarrow B$ と $C \rightarrow B$ の B が同じものであり、“B によく似ているが B ではない” というようなことがないか確認しなければならない。

したがって、次のような問題が生ずる。

- (1) “B に似ているが B ではないもの”，すなわちフォールトは無限に考えられるので完全な証明は難しい。理論的には、“被試験体の状態の数はある値より多くない” という前提をおいて正しさを証明する⁵⁾。すなわち “B でないもの” は有限個であると仮定し、その条件内で正しいことを証明する。
- (2) 観測誤差とか偶然の一致というようなことも考えられる。判定精度を上げるためには、観測可能となるような改造を製品にほどこさなければならぬ場合も多いが、そうすると被試験対象としたものとプロトコル実装製品とは異なったものになる。

したがって “理論的な方法” には実際上問題がある。一方、ISO で開発した実際的なトランスポート適合性試験スイートでは、到達した状態の確認としていくつかの連続するパスを通して観測可能な範囲内で矛盾が見つからなければ合格としている。これを “実際的な方法” と呼ぶと、これも完全に正しい判定ができるものとはいえない。

本論文ではこれらの試験について、その試験スイートをもとにそれがどの程度の質であるかを評価する指標を提案する。この指標で高い評価を得ただけでは相互接続性が高いとは保証されないが、指標の 1 つとして理解しやすく有効なものとする。

すなわち、プログラムの試験の質の評価によく用いられるテストカバレジの考えを状態遷移図に適用し、状態遷移図の長さ L のパスのカバレジを C_L と記述し、 C_L が 100% であることを特に C_L^* と記述する (文献 7) では M_{ij} などと記述した)。 C_L^* は表 1 に示すようなカバレジの質を表す⁷⁾。たとえば C_2^* は 2 つ連続したすべてのトランジションについて正常な動作を確認する試験を示す。相互接続性の保証のためには、 $L = \infty$ まで試験する必要がある。しかし OSI で開発したトランスポートの試験項目では、後で表 4 あるいは図 3 に示すように、 $L = 1$ のパス

表 1 試験項目の長さと言質
Table 1 Length and quality of test case.

レベル	確認できる事項	確認できない事項
C_1^*	仕様に定められた長さ 1 のパスが正常な入力に対し正しい出力と遷移をすることの確認	余計な遷移があるか、遷移の到達先が予定の状態かは不明
C_2^*	2 つ連続したパスが正常入力に対し正しい出力と遷移をすることの確認	3 つ以上前の遷移との関係/影響についてはチェックしない
C_3^*	3 つ連続したパスが正常入力に対し正しい出力と遷移をすることの確認	4 つ以上前の遷移との関係/影響についてはチェックしない

はほぼ 100% 実施しているが、 $L = 2$ では 30% 以下、 $L = 3$ では 10% 以下でそれ以上は無視してもよい程度である⁸⁾。この C_L のカバレジによって、試験項目がどの程度不完全か、そして逆にどの程度完全かが分かると考える。

3. FSM の長さによる展開

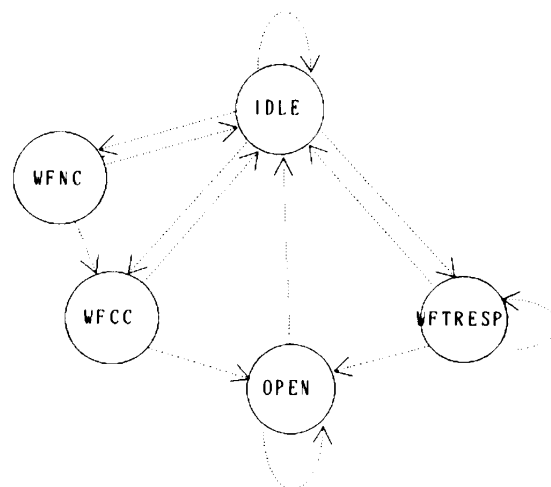
ここではプロトコルの複雑度を考察する。前提として次の定義または仮定をする。

- (1) 試験とは、システムのパスが正しいことを確認することである。
- (2) システムには到達すると試験の終了となるノードがあり、それをアイドルノードという。FSM の各ノードからアイドルノードには到達可能である。
- (3) パスとは一連の遷移の連なりで、任意のノードを出発点としアイドルノードで終了する。パスを構成する遷移の数をパスの長さという。

FSM システムの長さ L のパスの個数を P_L と表すと、これは連結行列を使って求めることができる⁹⁾。この行列は FSM のノードの数を S 個とすると $S \times S$ 行列で、その各 ij 要素はノード i からノード j へ H 本のリンクがつながっているときに H 、リンクのない場合は 0 とする。図 1 A にトランスポートクラス 0 の FSM の状態遷移図を示す。また図 1 B に図 1 A に対応する連結行列を示す。

P_L を図 1 A の例で説明すると、 P_1 は長さ 1 のパスの個数で、したがってリンクの数 13 である。また P_2 は長さ 2 のパスの個数で 18 となる。たとえば OPEN 状態から出る長さ 2 のパスは、(OPEN, OPEN, OPEN) と (OPEN, OPEN, IDLE) と 2 個である。IDLE に到達したパスはそこで終了と見なすので、(OPEN, IDLE, IDLE) というパスは数えない。

トランスポートの 0, 2, 4 の各クラスと FTAM (イニシエータ側) の P_L の値を連結行列を使って求めて図 2 に示す。これを見ると、トランスポートの各ク



A. トランスポートクラス 0 の状態遷移図
A. State transition diagram of transport class 0.

	Idle	WFNC	WFCC	Open	WFTRESP
Idle	1	1	1	0	1
WFNC	1	0	1	0	0
WFCC	1	0	0	1	0
Open	1	0	0	1	0
WFT.	1	0	0	1	1

B. 連結行列
B. Connection matrix.

図 1 トランスポートクラス 0 の状態遷移図と連結行列
Fig. 1 State transition diagram and connection matrix of transport class 0.

ラスの複雑度の差が明確に見て取れる。またトランスポートのクラス 4 と FTAM のイニシエータ側とのパスの増加速度はほぼ同じになっており、関係のないこの 2 つのシステムの複雑度がこの評価法のもとではほぼ等しいという興味深い結果が見られる。

この P_L を並べた数列 $\{P_L\}$ をパスベクトルと呼ぶことにする。トランスポートクラス 0 でいうと $\{13, 18, \dots\}$ である。これは状態遷移図の複雑さを表す指標になると考える。この指標は試験項目の件数の見積りに使えるという点でサイクロマチック数のような指標より優れている。またこれは表 2 に示すような L

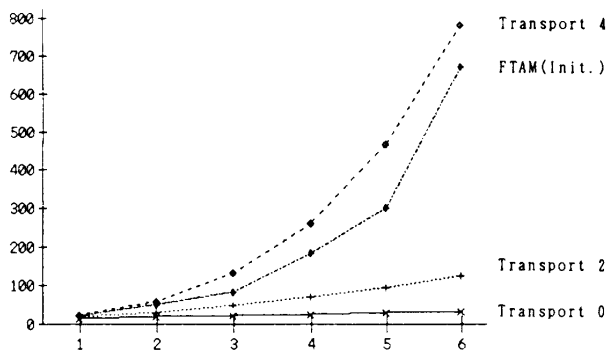


図2 パス長さ対パスの件数グラフ

Fig. 2 Graph of path length vs. No.'s paths

表2 P_L の近似式Table 2 Approximate equations of P_L .

	P_L
Transport Class 0	$10 + 4L$
Class 2	$6 + 8L + 2L^2$
Class 4	$(54 + 62L + 23L^2 + 10L^3 + L^4)/6$
FTAM(INIT.)	$23.1 \times 2.22^{[L/2]} \times 1.63^{[(L-1)/2]}$

の関数で近似できる。この表の [式] はガウス記号で、式を計算して少数点以下を切り捨て整数にすることを表す。詳細は文献9)を参照されたい。

4. 試験項目の長さによる展開

ここではISOで開発したトランスポート適合性試験スイートについてパスの長さによる分析を行う。まず、次のように定義する。

L : パスを形成する遷移の数。これをパスの長さという

P_L : 長さ L のパスの個数

p_L : P_L のうち試験項目でカバーされた個数

C_L : 長さ L のパスのカバレッジ

n : 試験項目数

N_L : 長さ L のパスをカバーするのに必要な試験項目の数

n_L : 長さ L の試験項目の実際の数

A : 機能試験項目数

まず、問題を単純化するために、3章の(1)~(3)に加えて次の仮定をする。

- (4) 試験項目はパスに対応して作成され、同じ長さのパスの個数と試験項目の件数の間には L に関係なく一定の比例関係があるとする。すなわち E を比例定数として、次の式が成立するとする。

$$n_L = p_L \times E, \quad N_L = P_L \times E. \quad (1)$$

表3 試験項目の件数とパス数の関係

Table 3 Relations between No.'s of test cases and paths.

Class	0	2	4
Test case Capability A	37	105	117
Total n	53	154	199
Estimation $A + P_2 \times 0.3 \times E$	52.4	156.4	202.6

したがって長さ L のパスカバレッジは次のように定義される。

$$C_L = p_L / P_L = n_L / N_L = n_L / (P_L \times E). \quad (2)$$

n_L が多い場合にはこの値が1より大になることもありうるが、その場合には余分な試験項目があると見なして切り捨て、1とする。またシステムのパスカバレッジは個々のカバレッジの集合 $\{C_L\}$ で表す。

また比例定数 E はパスあたり平均試験項目数で、

$$E = \text{試験項目数} / \text{試験項目がカバーするパス数} \quad (3)$$

となるが、ここでは次式で近似できるとする。

$$E = \text{機能試験項目数} / \text{リンク数 } P_1. \quad (3')$$

ここで機能試験項目(その個数を A と記す)とは、OSI適合性試験の場合はPICS(プロトコル実装適合性記述書)から作成された試験項目で基本的機能をすべて網羅しているものである。式(3')によると、長さ1のパスカバレッジを満たすことは機能試験項目をすべて実施することに相当する。すなわち $A = n_1$ となる。ただしこれは近似式で、長さ1の試験項目と機能試験項目とが1対1で対応しているというわけではない。OSIの機能試験項目を見ると、長さが1でない機能試験項目があり、長さ1でも機能試験項目ではない試験項目もある。

さて上記の考えにより、試験項目とパスとカバレッジの間には次式が成立する。ここで Σ は $L=1$ から無限大まで加えることを示す。

$$n = \Sigma n_L = \Sigma (P_L \times E \times C_L). \quad (4)$$

ISOのトランスポートの試験項目を見ると、先にもふれたように長さ1のものが多く、長さ3以上のものは20%以下であるので、 $C_1 = 1$ とし C_3 以上を0とすると式(4)第一項は式(3')により $P_1 \times E \times C_1 = A$ となり、次の近似式が得られる。

$$n = A + P_2 \times E \times C_2. \quad (5)$$

ここで C_2 にいろいろな値を入れてみると、0.3で表3に示すように n の値とほとんど一致する。これはこのような分析法が正しいことを示すものと考えられる。

5. フォールト発見能力と必要度

3章でFSMシステムを長さ L のパスの個数の数列

$\{P_L\}$ で表現したように、ここでは試験項目を形成するパスの個数を長さ別のベクトルで表現することを考える。

長さ L のパスをカバーする試験項目 1 個は、長さ 1 のパスを L 個カバーし、長さ 2 のパスを $L-1$ 個カバーし、以下同様に長さ $L-1$ のパスを 2 個カバーする。したがってこれをベクトル形式で表現すると、試験項目が同じパスを通らない場合は、長さ L の試験項目は、

$$\{L, L-1, \dots, 3, 2, 1, 0, 0, \dots\}$$

と表現される。

試験項目が同じパスを何回か通る場合にはその分は差し引いて二重には数えないものとする。たとえば、最も極端な場合として 1 つのループを L 回ただ繰り返すだけの試験項目では、長さ 1 から L までのパスを 1 個ずつカバーするので、次のように最初に 1 が L 個並び後は 0 となるパスベクトル

$$\{1, 1, \dots, 1, 0, 0, 0, \dots\}$$

で表される。

これを、試験項目のフォールト発見能力と定義する。すなわち、

試験項目のフォールト発見能力：試験項目のフォールトを発見できる可能性の度合。ここではこの度合は、試験項目がカバーするパスの個数に比例すると考え、カバーするパスの個数を長さ順に並べたパスベクトルで表現する。ただし同じパスを重複してカバーする場合には 1 つだけカバーしたとして重複分は数えない。

上記のように定義すると、ここでいう試験項目のフォールト発見能力には次のような性質がある。

- (1) 試験項目のカバーするパスの長さと同数が同じならば、どのパスを通るにかかわらず能力は同じ。
- (2) パスの重複がなければ試験項目の長さが長い方が能力は大きい。
- (3) パスの長さが同じならば重複があると試験項目の能力は小さくなる。

ここで、フォールト発見能力の定義を試験項目のグループに拡張する。

試験項目群のフォールト発見能力：試験項目群があったとき、個々の試験項目のカバーするパスのすべてを列挙し、同じものがあれば 1 つだけ残して他は除いてできたパスベクトルを試験項目群のフォールト発見能力とする。

またこれに合わせて、試験項目の必要度を次のように定義する。

試験項目 (群) の必要度：試験項目 (群) (A とする)

をすでにある試験項目 (群) (B とする) に追加して使用する場合に、新たにフォールトを発見できる度合。ここでは、A のカバーするパスから、B ですでにカバーされている分を除き、残ったパスのパスベクトルで表現する。

この試験項目のパスベクトルで、システムの複雑度を表すパスベクトルをすべて埋め尽くせば試験の目標は 100% 達成される。しかし一般には不可能であるしまたその必要もないであろう。

6. 充足率

長さ 2 のパスは長さ 1 のパスを必ず含む。試験をパスの短い方から実施すると考えると、長さ 1 のパスの試験がすべてすんだ後では、長さ 2 のパスが新しくフォールトを発見できる可能性は少ないであろう。それを表現するために、パスベクトルに重みをつけることを考える。その重みとしては次のようなものが考えられる。

- (1) $\{1/P_1, 1/P_2, \dots, 1/P_L, \dots\}$
- (2) $\{1/2, 1/4, \dots, 1/2^L, \dots\}$
- (3) $\{1/2P_1, \dots, 1/(2^L \times P_L), \dots\}$

(1) は各要素を P_L で割ってノーマライズしたもので、 C_L カバレジが 100% になると L 番目の要素は 1 になる。(2) は、カバレジの価値はパスの長さが増えるにつれ半分ずつ減少してゆくことを意味している。1/2 という数値は、単調減少無限数列として選んだもので、 $0 < R < 1$ となる R ならばどれも同じようなものであるが、理解しやすさを考えると 1/2 は適当である。(3) は (1) と (2) の合成であり、ノーマライズしたうえに、 L が大になるほどカバレジの価値が減るという評価をしたもので、システムが 100% カバーされたとき、そのパスベクトルの要素をすべて合計すると 1 に近づく。

この (3) の重みをつけた場合、長さの短いパスから試験してゆくと、フォールト発見能力については長さが長くなるにしたがって増加し 1 に近づくが、必要度は長くなるほど減少し、たとえばカバレジ C_L と C_{L+1} とは値が同じであっても重みを付けると C_{L+1} の方の価値は C_L の半分になる。したがって、コストを考えると試験を適当な長さで打ち切ることが望ましい。これは自然な考えであり、 $1/(2^L \times P_L)$ という重みは試験の実体を表現していると考えられる。

フォールト発見能力は、たとえば水の価値は水の量が多いほどよいと評価するのに似ている。それに対して必要度の評価は、のどが乾いているときの最初のコップ 1 杯の水はその後でもらったバケツ 1 杯の水よ

表4 ISOトランスポート試験スイートの特性 ($E = A/P_1$ の場合)

Table 4 Properties of transport test suites (in the case of $E = A/P_1$).

Class	0	2	4
リンク数 P_1	13	19	25
A	37	105	117
$E = A/P_1$	2.85	5.53	4.68
C_1	0.892	1.010	1.026
C_2	0.312	0.140	0.144
C_3	0.064	0.090	0.061
Y	53.2	54.6	54.4

りも価値があると評価するのに似ている。

ここで試験スイートの質を100点満点で評価することを試みる。その評価関数を充足率 Y と呼び、その望ましい性質を次のようなものとする。

- 試験項目の件数 n の単調増加関数
- 導関数は n の単調減少関数
- $n=0$ のとき $Y=0$
- P_1 のカバレジが100%になったときに $Y=50$
- $n \rightarrow$ 無限大のときに $Y=100$
- 対象システムに関係なく、 C_L が同じならば Y の値も同じになる。

上記の条件を満たす関数 Y として先ほどの重みづけの(3)を用いた次の式(文献⁸⁾ではこれを疑似カバレジと呼んでいる)を使う。

$$Y = 100 \times (C_1/2 + C_2/2^2 + C_3/2^3 + \dots). \quad (6)$$

そうすると充足率 Y の得点の意味は次のようなものである; $Y=50$ ならばほぼ P_1 をカバーし、 $Y=75$ ならば P_2 までカバーし、 $Y=87.5$ ならば P_3 までカバーする。

式(6)はカバレジ C_L だけで定まるが、 C_L を求めるには式(2)の $C_L = n_L / (P_L \times E)$ を使うので、 n_L にも E の値にも影響される。実際にISOのトランスポート適合性試験スイートのクラス0/2/4⁴⁾について求めた数値が表4である。

表4から分かるように、トランスポート試験スイートの充足率は3クラスとも54点前後である。この54点は、ISOで考えている適合性試験の合格最低点を表していると考えられる。すなわち、1章で述べた through テストの最低点と考えられる。

7. トランスポート試験スイートの構造

本論文の考えでは、試験項目数 n_L は式(1)から分かるように、パスの数 p_L と比例定数 E の積で表される。 p_L は状態遷移図の骨組みにあたるパスの数を表し、 E は各パスのバリエーションの数を示す。 p_L

表5 トランスポート試験スイートの特性 ($E = n_1/P_1$ の場合)

Table 5 Properties of transport test suites (in the case of $E = n_1/P_1$).

	0	2	4
長さ1の試験項目 n_1	33	106	120
長さ2の試験項目 n_2	16	24	41
長さ3以上のもの n_3	4	24	38
長さ1のパス数 P_1	13	19	25
長さ2のパス数 P_2	18	31	61
長さ3のパス数 P_3	22	48	133
P_1 のカバレジ C_1	1	1	1
P_2 のカバレジ C_2	0.35	0.14	0.14
P_3 のカバレジ C_3	0.072	0.090	0.060
Depth E_1	2.54	5.58	4.80
Width = n/E_1	20.9	27.6	41.5
全試験項目数 n	53	154	199

が試験の幅を示すとすれば、 E はその深さを表すと考える。このように幅と深さに分解して考えた例はほかにもあり、コントロールパートとデータパートという言葉が使われている¹⁰⁾。

4章で式(3'): $E =$ 機能試験項目数 / P_1 という近似式を用いてよい結果を得たが、パスあたりのバリエーションによって E は変わり、機能試験項目も PICS から選んだもので一般性がない。ここではより一般的に考察をすすめるために次のように仮定する。

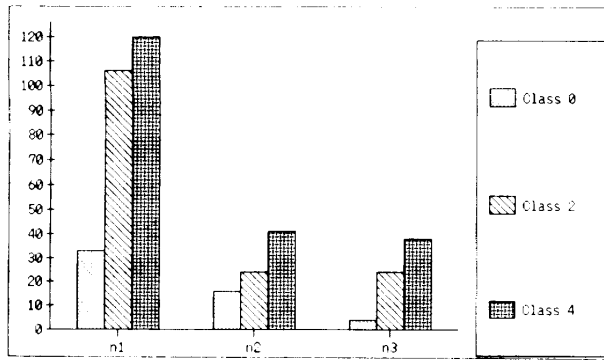
- (1) 長さ1のパスは必須試験で100%カバーするとする。表1でいう C_1^* で、 $n_1 = N_1$ とする。
- (2) パスのバリエーションは L が変わっても変わらないとする。すなわち $N_L = P_L \times E$ である。したがって E は、 $E = N_1/P_1 = n_1/P_1$ で求められる。

この E と先の E とを区別するために、ここでの E を E_1 と記す。その結果を表5に示すが、 E_1 と先の E とはあまり変わらない。この E_1 を使って先の式(4)で n を求めてみる。ここで $C_1 = 1$ とし、 C_4 以上は必要度が小さいのですべて $=0$ とする。すなわち、

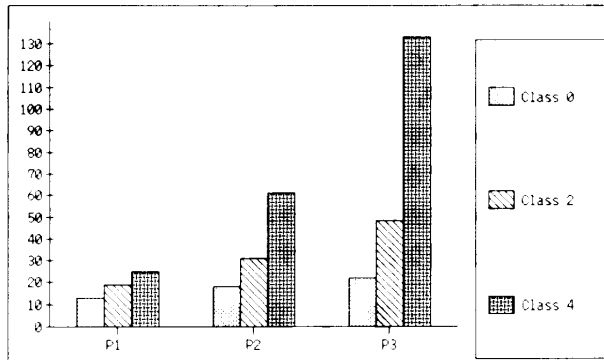
$$n = (P_1 \times C_1 + P_2 \times C_2 + P_3 \times C_3) \times E_1. \quad (7)$$

これは式(4)を $L=3$ までで打ち切ったものであるが、ISOのトランスポートの場合には、 $L=4$ 以上の試験項目の数は少ないので無視できると考える。

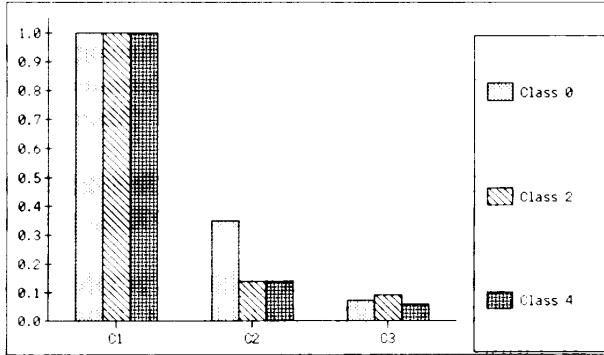
カバレジ C_L には式(2)の $C_L = n_L / (P_L \times E_1)$ を使い、その結果を表5に示す。またこれをグラフ化したものを図3に示す。これから、 L が増加するにしたがってパスが急激に増加し、逆に試験項目数とカバレジが急激に減少する様子が分かる。幅と深さについてはクラス2はクラス0にくらべ、試験項目の幅で1.3倍、深さで2.2倍で、合わせて約3倍になっている。クラス4の深さがクラス2より浅いのはクラス4



3A. 試験項目の件数
3A. No. of test cases.



3B. パスの数
3B. No. of paths.



3C. パスカバレッジ
3C. Coverage of paths.

図3 トランスポート試験スイートの構成
Fig. 3 The structure of transport test suites.

では状態の数が増えたためである。

この式(7)に C_L や E として推定値または計画値を代入すれば、試験項目数の推定式となるであろう。たとえば、試験の目標として表1の C_1^* の試験を目指すか C_2^* までするかによって試験項目数がどのように変わるかが式(7)から分かる。

8. 定数 E の分析

E の意味を分析するために、試験項目がどのように

して作成されるかを調べる。

OSI 適合性試験のガイドラインである IS9646 のパート2には、試験項目の作成について細かい規定がある。次にその要点を「」に示す。その方針によると、適合性要件から試験目的が作られ、試験目的から試験項目が作られる。試験目的については次のように記述されている。

- 「● 試験スイートの構成は階層的であること。
- 試験目的は状態とイベントのすべての組合せについて少なくとも1つ作成すること。」

これでリンクごとに1つは試験目的が作られることになる。

またバリエーションについては、タイミング/タイマやコーディングのバリエーションのほかに、

- 「特に個々のパラメータと各パラメータの有効値の試験について、PICS に指定された値を選び、
- 整数パラメータについては、許容範囲境界上の値、および範囲内のランダムに選んだ値を1つ、
- ビットパラメータについてはできるだけ多く、そしてノーマルまたは一般的な個数より少なくないこと、
- その他のパラメータについては、ノーマルまたはデフォルトと思われる値以外のものを少なくとも1つ

またパラメータの組合せ試験については、

- 各特定値の重要な組合せについて少なくとも1つ(たとえば境界値など)、
- ランダムな組合せの試験を、相互に関係するパラメータのセットについて少なくとも1つ。」

は実施するようにと記述している。こうしてE、すなわち深さが定まる。

実際のISOトランスポート試験目的はほぼ9646に従って作成されているが、バリエーションについては9646で指定したようにはいていない。

ここで深さの内容を見るために、試験項目の標準文体を考える。試験項目を標準文体で表現するという方法はPOSIXでも提案しているが²⁾、そのメリットは次のようなものであると考える。

- (1) 試験項目の表現の統一により、自然に質が統一される。
- (2) 試験スイートが体系的に整理され見落としが防げる。
- (3) 試験項目がツリー状に細分化されて作成されるので、機能を削除する必要がある場合、関連する試験項目が分かりやすい。
- (4) 試験項目の深さをどの程度にするかの計画がし

表6 試験目的の標準文体
Table 6 A standard style of test purpose.

[前提条件 (1) のもとで, IUT の状態 (2) のときに, 入力イベント (3) の パラメータタイプ (4) に 値 (5) を与えて入力する]
例: [TPDU 長 256 オクテットで確立し (1), オープン の状態 で (2), DT.TPDU を受信し (3), そのユーザデータは (4), 250 オクテット (5) とする.]

やすい。

ISO トランスポート試験スイートを見ると、意識的
にと思われるが、表6に示すような標準的な文体では
85%の試験項目を表現している¹¹⁾。この標準文体
は長さ1のパスのための文体であるが、この文体に適
当な言葉をあてはめれば必ずから試験項目ができあが
る。ただしこれで表現できない試験項目のためには標
準文体のバリエーションがいる。たとえば、タイマの
試験などはこの標準文体では表現できない。

ここで表6の標準文体の(2)、(3)のバリエーシ
ョンの組合せによってリンクが定まる。一方、(1)、(4)、
(5)のバリエーションの組合せによってリンクあたりの
試験項目が作られ、バリエーションを増やすにした
がってEの値は大きくなる。すなわち、(1)~(5)のバ
リエーションのうち、(2)、(3)とパスの長さで試験項
目の幅が定まり、(1)、(4)、(5)の組合せで試験項目の
深さが定まる。パラメータやパラメータ値のバリエ
ーションの組合せを多く試験すればさらに深さは増すこ
とになる。

9. まとめ

現状では、技術的にも経済的にも、適合性試験で相
互接続性を100%保証できないという前提のもとに、
ISOの適合性試験スイートの評価を行った。

状態遷移図と試験項目を長さ別のパスで展開し、パ
スベクトル $\{P_L\}$ を求め、そのカバレジで試験の広さを
評価し、Eで試験の深さを評価し、そして(試験項目
数 = $E \times$ パス数) という式で試験項目数を求める
というアイデアが、本手法の骨子である。

これにより、試験項目数 = Σ (長さLのパス数
 $\times E \times$ 長さLのパスカバレジ) という試験項目数と長
さ別カバレジとの関係式を導いた。また P_L には重み
をつけて充足率の式を定義した。これをISOで開発
したトランスポートの各クラスの適合性試験の試験ス
イートに適用した。その結果、 P_1 を100%カバーすれ

ば50点であると評価すれば、トランスポート試験ス
イートの充足率は54点前後となる。これがthrough
テストの合格最低点と考えられる。ただしこの評価尺
度はパスの長さ別のカバレジという1つの面から見た
評価であり、これだけで相互接続性を評価するもの
ではない。たとえば、これで54点をとったからthrough
テストに合格するというにはならない。

一方、Eについては試験項目の標準文体との関係
を示し、トランスポート試験スイートの各クラスの構
造について、試験項目件数とその幅と深さ、パスの長
さ別カバレジなどを求めて図示した。

この分析により、トランスポートのOSI適合性試
験は、 P_1 を100%カバーよりも少し上回る程度の質
であるということが読み取れる。またこの質を高め
ると、たとえば P_2 をカバーする程度にすると、試験
項目の数がどの程度増加するかの目安がパスの数の
増加などから推定できる。

今後はこの方法のプログラム化と、トランスポート
層以外への適用などを検討する予定である。

参考文献

- 1) ISO/IEC JTC 1/SC 21: Information Technology - Open System Interconnection, Conformance Testing Methodology and Framework - Part 1, ISO 9646-1 (1994-3-14).
- 2) IEEE Standard Information Technology Test Methods for Measuring Conformance to POSIX, IEEE 1003.3, pp.9-11 (March 21, 1991).
- 3) 佐藤文明, 他: 通信システムの段階的な試験のための試験系列自動生成手法とその実現, 情報処理 (1990,10).
- 4) PT19@D018F003: T0CONSCS, T2CONSCS, - T4CLNSCS, ITEX-DE2.1 (Jan. 14, 1994).
- 5) Fujiwara, S., et al.: Test Selection Based on Finite State Models, *IEEE Tran. Software Eng.*, Vol.17, No.6, pp.591-603 (1991).
- 6) Sidhu, D.P., et al.: Formal Methods for Protocol Testing: A Detailed Study, *IEEE Trans. Software Eng.* Vol.15, No.4, pp.413-426 (1989).
- 7) 若杉忠男: OSI適合性試験スイートの評価法—マルチトランジションカバレジ—, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.111-120, 情報処理学会 (1994).
- 8) 若杉忠男: 有限状態マシン (FSM) で表現されるシステムの試験スイートの必要度充足率について, マルチメディア通信と分散処理, 情報処理学会研究報告 95-dps-72, pp.7-12 (1995).
- 9) 若杉忠男: 有限状態マシン (FSM) で表現されるシステムの複雑度について, マルチメディア通

信と分散処理, 情報処理学会研究報告 95-dps-72, p.16 (1995).

- 10) Vuong, S.T. and Curgus, J.: On Test Coverage Metrics for Communication Protocols, *Proc. of IWPTS#4*, pp.1135-62 (Oct. 1991).
- 11) Wakasugi, T.: *A Study of OSI Conformance Tests - In the Case of Transport Layer, Protocol Test System 3 (Proc. of IWPTS#3)*, Elsevier Science Publishers, North Holland, pp.119-129 (1990).

(平成 7 年 10 月 13 日受付)

(平成 8 年 1 月 10 日採録)



若杉 忠男 (正会員)

昭和 8 年 12 月 9 日生. 昭和 36 年 東京大学理学部数学科卒, 理学士, 技術士 (情報処理部門). 同年三菱電機 (株) に入社しコンピュータ部門にてシステム開発, ソフトウェア品質管理などに従事. 平成元年横浜創英短大情報処理学科教授. 現在独立して情報技術コンサルタントとなり, (株) 計算力学研究センター顧問, 湘南工科大/尚美短大/埼玉短大講師, 情報処理相互運用技術協会試験技術運用委員会委員. システム品質の評価に関心をもつ. 電子情報通信学会会員.