



## 自己診断可能なシステム

中西義郎\* 中野秀男\*\*

故障はシステムに限らず装置、部品すべてにわたってその使用期における主要な問題の1つである。部品とか小規模な装置については通常の信頼性の範ちゅうでとらえてじゅうぶんであるが、大規模で複雑なシステムに対してはさらに進んだ方策が望まれる。そのもっとも理想的な方策は、システムのどこかに故障が発生したとき、自らがその故障箇所を診断し自らが修復するようにするという形であろう。主として電子計算機システムを対象にして進められてきている自己診断可能なシステム (self-diagnosable system) に関する研究はこの向きの現われといえる。

システムが自己診断可能であるためには、システムがシステム内の故障の有無を検出し、どこかに故障が存在するとき故障箇所を同定する機能をもたねばならない。この機能をシステム内に実現する形としていろいろな形態が考えられてきたが、システムを構成する各ユニットに他のユニットをテストする能力をもたせるという形で診断機能をもたせた形態がとくに自己診断可能なシステムとして問題にされている。したがってこのシステムでは、従来診断テストにおいてつねに診断する側は正しいとしていたのとはちがって、故障状態は診断される側だけにあるのではなく診断する側にも同等に存在する。

$n$  個のユニットから構成されている自己診断可能なシステムは、図式的に診断グラフと呼ばれる有向グラフで表わされる。以下、図1の診断グラフで示される自己診断可能なシステムを例にとって説明する。診断グラフにおいてユニッ

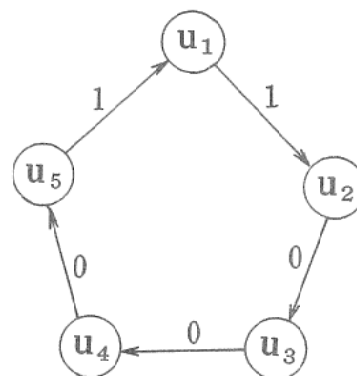


図1. 診断グラフ

ト  $u_1$  からユニット  $u_2$  への枝が存在するのは、ユニット  $u_1$  がユニット  $u_2$  をテスト出来ることを示している。もしユニット  $u_1$  が正しいければ、このテスト結果は信用できるが、ユニット  $u_1$  が故障状態ならどのようなテスト結果を出すかわからない。また、テスト結果は“正しい”と“悪い”の2通りしかないとする。すべてのテストの結果の集合を症候群 (syndrome) といい、“正しい”に対して0を、“悪い”に対して1を診断グラフのテストをあらわす枝に与える。図1の診断システムでは、5つのテスト結果からなる症候群が示されている。

いくら自己診断可能なシステムといっても、すべてのユニットが故障しては診断のしようがないので、故障ユニット数は  $t$  個以下であるという制限をつける。たとえば、図1の診断グラフと症候群に対して  $t \leq 3$  とすれば、ユニット  $u_1$  だけが故障であることがわかる。これは次のことからいえる。もしユニット  $u_5$  が悪ければ  $u_5$  を正しいと言っている  $u_4$  は悪く、同じ理由で  $u_3$  も  $u_2$  も悪く、4つのユニットが故障状態となって  $t \leq 3$  の仮定に反する。従って  $u_5$  は正しくなければならず、ゆえに  $u_1$  は故障状態ということになる。  $t = 4$  の時にはユニット  $u_5$  が悪いこともある。

\* 中西義郎 (Yoshiro NAKANISHI), 大阪大学, 工学部, 通信工学, 教授, 工学博士, 通信工学

\*\* 中野秀男 (Hideo NAKANO), 大阪大学, 工学部, 通信工学, 助手, 工学博士, 通信工学

故障ユニット数が  $t$  に制限された時、どのような症候群（ただし生起する可能性のある症候群にかぎる）に対してもそれからすべてのユニットの状態がわかる時、そのシステムは同時  $t$  重故障診断可能であるという。また、どのような症候群が与えられても少なくとも 1 つの故障ユニットがわかれば、そのシステムは逐次  $t$  重故障診断可能という。これは、1 つの故障ユニットがわかれば、それを正常なユニットと取り替えてゆくことによって最終的にすべてのユニットの状態がわかるからである。

自己診断可能なシステムにおける基本的な問題の 1 つに“同時  $t$  重故障診断可能のための必要十分条件を求めよ”という問題がある。システムのユニット数が  $n$  のとき、 $n = 2t$  であるとしよう。図 2 にあるように  $U_1$  と  $U_2$  をそれぞれ  $t$  個のユニットからなる集合とする。  $U_1$  の

ユニットがすべて正しく、  $U_2$  のユニットがすべて悪い時、症候群は図 2-1 のようになる。  $X$  は 0 でも 1 でも良いことを示す。図 2-2 は逆の場合である。今、図 2-3 の症候群が与えられたとすると、すべてのユニットは、いずれの状態をもとる可能性があり診断はできなくなる。したがって、 $n \geq 2t + 1$  が必要条件となる。次に、ユニット  $u$  が  $(t-1)$  個以下のユニットからテストされると考える。この場合、  $u$  をテストするユニットの集合  $U'$  だけが故障している時の症候群と、  $U'$  と  $u$  が故障している時の症候群は同じになる可能性がある。従って、すべてのユニットに対してそれを調べるユニットの数は  $t$  個以上でないと同時  $t$  重診断可能にはならない。この 2 つの必要条件を合わせても十分条件にはならない。しかし診断グラフの構造が“2 つのユニットは互いにはテストしない”構造であれば、それは必要十分条件になる。

故障ユニット数を制限することは実際的にも意味のあることであるが、この制限を取り除いてもこのモデルではいくつかの事実がわかる。まず、図 3 の診断グラフと症候群を考えてみよう。図 3 のようなグラフは、任意の 2 つのユニ

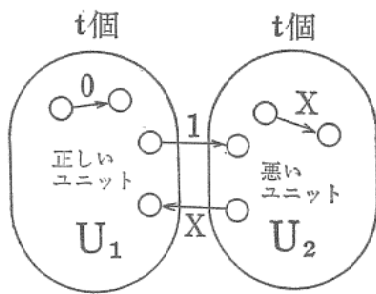


図 2-1

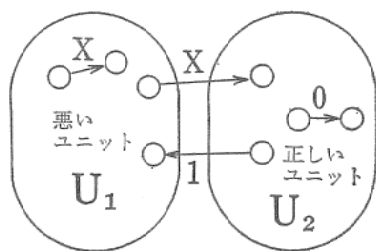


図 2-2

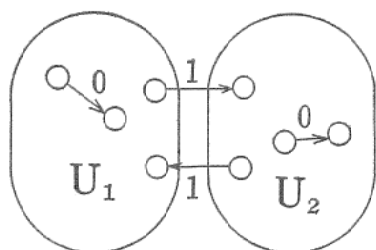


図 2-3

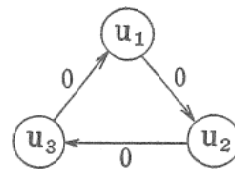


図 3

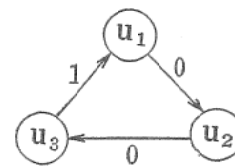


図 4

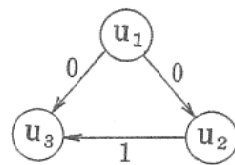


図 5

ット間に双方向に有向道があるので強連結グラフと呼ばれているが、強連結診断グラフの症候群がすべて“正しい”であれば、すべてのユニットは正しいか、またすべてのユニットが悪いかのいずれかになる。次に、図4の強連結グラフでは1が1つしかない。このような場合には、ユニット  $u_1$  が故障であることは確定的にいえ。図5の場合も  $u_1$  は故障状態である。一般に故障ユニット数に制限がないとき、症候群によっては故障ユニットが見い出せることがありうるが、正常なユニットは見つけられない。

余談であるが、図3、図4および図5の例はユニットを人間とし、テストを適当に解釈すれば面白い話になる。事実、パズルにおける“うそつき島の土人の問題”は自己診断可能なシステムそのものである。

症候群の解析において、症候群がすべて与えられているものとした解析があるが、これはテストという点からいえば組み合わせテストに対応する。組み合わせテストに対して順序テストが考えられるが、この場合には最適なテスト手順が問題になる。これに関して当研究室では、いまテストを1回づつ行ない、それまでのテスト結果から次のテストを選択する技法について考究している。完全診断グラフについてはこの技法でのほぼ最適であると見られる手順を明らかにしており、引きつづき一般化を試みているところである。1つの手順を見い出すには直観的な考察がものをいうが、それが最適というには相当な論理的思考が要求される。

システムの構成問題については、つぎのようなことが知られている。同時  $t$  重故障診断可能なシステムは、条件つきながら前述の簡単な必

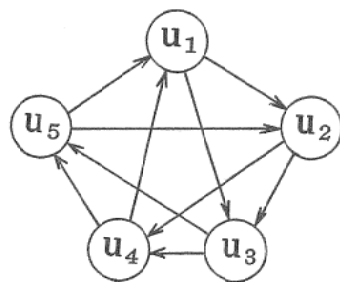


図6. 同時2重故障診断可能なシステム

要十分条件があるので、構成しやすい。図6は同時2重故障診断可能なシステムの一例である。また構造を限った場合の構成問題もある。図1や図3、4のようなシステムはループシステムと呼ばれているが、ユニット数  $n$  のループシステムが逐次  $t$  重故障診断可能であるための必要十分条件は  $n \geq 1 + (m+1)^2 + \lambda(m+1)$  であることがわかっている。ここで、 $m$  と  $\lambda$  は  $t$  を2で割ったときの商と剰余である。“与えられた診断グラフにどのようにテストやユニットを付加すれば望む診断可能性が得られるか”という問題はきわめて実際的な構成問題で興味のあるところであるが、まだ研究の余地を残している。

これまでは、自己診断可能なシステムの原形的ともいえるモデルについて、解析問題、構成問題を述べてきたが、自己診断可能なシステムのモデルとしてはさらに一般的あるいは場合によっては実際的とみられるモデルが提案されてきている。これについては、簡単に列挙しておくにとどめる。

- ユニットによっては、その診断に複数個のユニットからのテストが必要であるとする。
- グラフの節点をユニットと考えずに故障と考え一般化する。
- 診断テストの結果の生じ方に確率を導入する。すなわち正しい、悪いの判断は確定的でなく、確率何%で正しいとする。
- 故障は永久的なものではなく時々生起する間欠故障とする。

以上、自己診断可能なシステムについての研究の動きを大まかに述べてみた。現段階は自己診断可能なシステムの形態を理論的に考究しているといえる程度で、このようなシステムの開発実現にはまだまだつながっていない。

しかし今後、この種の研究、成果は部分的にしろ、逐次実際のシステムに活用されてゆくと考えている。また、最近の1チップCPU、周辺LSI、ないしはマイクロコンピュータの目ざましい進展は、計算機システムだけでなくその他のシステムにもこの種の技術の導入を可能にするかもしれないことを見のがしてはならないであろう。