

論文

## ウェブ文法によるデータ構造取り扱いシステム\*

山本 順人\*\* 安部 憲広\*\*\*  
豊田 順一\*\* 田中 幸吉\*\*

### Abstract

A data structure manipulating system has been developed, which is used with the labeled graph on the graphic computer terminal.

Web grammar is a kind of phrase structure grammars that manipulates graphs or relations, so it is suitable for describing the external, visual expression of the data structure.

And, the modification, generation procedure for the structure that was troublesome for user can be operated with only knowing graphic expressions.

The data structure used in the system has an ASP-type configuration, and the nonnormal, type-0 web grammar can be implemented.

### 1. ま え が き

近年、計算機の利用が進むにつれ、CAD、人工知能などに見られるごとく、構造を持つデータを扱う必要性が高まってきている。

構造を持つデータの格納のために各種のデータ構造の構成方法が研究されてきた<sup>3)</sup>。しかし、これらのデータ構造を操作する際に、機械で実際に実行される命令に近い指示（ポインタの付け替えなど）が要求される場合が多く、大量複雑なデータを取り扱う場合に、操作の記述と適用部分の指定に難点が生じる。

一般に、格納されたデータに対する操作は、単にあるデータ要素の内容の変更から部分構造の要素間関係を含む変更まで種々行ない得るが、指定された部分構造において、複数個の関係や要素を同時に変更しようとする場合、変更操作の記述と変更場所の指定をおこなうのは容易でない。たとえば、変更操作としては多次元的なつながりを持つ部分構造を変更するため、元の構造との関係（うめ込み）をも指定しなければならない。

筆者らは、上記の点の取り扱いを容易におこなうために、データ構造および操作部からなる汎用のデータ構造操作システムを構成したので報告する。

本システムでは、データ構造内に格納されているデータの論理的関係を外部表現としてラベルドグラフで表わしており、構造の変更をグラフの書き換えとしておこなっている。この場合、ウェブ文法の概念を用いることにより、データ構造の変更手続を書き換え規則として表現し、手続きの実行を書き換え規則のグラフへの適用としておこなっている。また、本システムは種々のホストシステムと組合せ、ホストシステムのデータ操作を受け持つことができる。

構造の操作は、グラフィックディスプレイ装置を介して、対話型式で行いうる。操作には最も書き換え能力の高い非正規0型ウェブ文法を用いることが可能

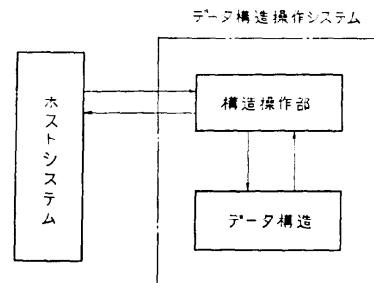


Fig. 1 Data structure manipulating system

\* On the Data Structure Manipulating System with Web Grammars, by Nobuhito YAMAMOTO, Norihiro ABE, Jun-ichi TOYODA and Kohkichi TANAKA.

\*\* 大阪大学基礎工学部情報工学科 (Department of Information and Computer Sciences, Faculty of Engineering Science, Osaka University)

\*\*\* 大阪大学基礎工学部制御工学科 (Department of Control Engineering, Faculty of Engineering Science, Osaka University)

である (Fig. 1 (前頁参照)).

### 2. 構造を持つデータの取り扱い

一般に、構造を持つデータの取り扱いにつき、次の場合が考えられる。

- (1) データ要素間の関係の変更はなく、特定のデータ要素の内容を変更する場合.
- (2) 特定データ要素間の関係を変更する場合.
- (3) (1), (2)を同時におこなう場合.

#### (1) の場合

各種の処理を経て構成されている目的データ要素を指定する場合、その要素に固有名があたえられていると、この名前を指定することにより、データ構造内の目的データ要素にたどりつくことができる。しかし固有名があたえられていない場合、それまでにおこなわれた過程 (それを表現している構造) を反映した指示をしないと、目的データ要素にたどりつけない。Fig. 2 は、リスト  $L$  の要素  $E$  を取り出す場合の例で、この場合、LISP 表現だと、

```
cdr(car(car(cdr(cdr(L))))))
```

となり、煩雑な指示をしなければならない。

#### (2) の場合

データ要素間の関係を変更する場合、変更しようとしている関係が、存在しているか否かを前もって知っている必要がある。Fig. 3 の例においては、関係  $r$  を  $r'$  に変更したいとき、このデータ構造内に  $r$  の存在を確認しなければならない。

もし、現在構成されているデータの要素間の関係を、視覚的に提示することができれば、上記の問題点の一つの解決策と考えることができる。

また、関係変更の手続きについては、多次元的であ

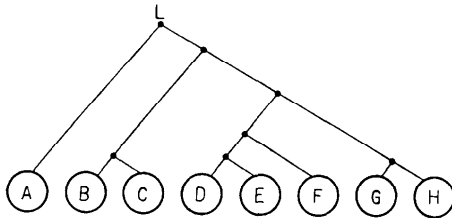


Fig. 2 An example of the case (1)

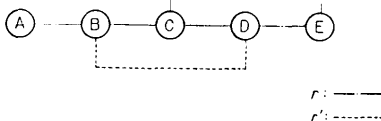


Fig. 3 An example of the case (2)

る場合が多く、一次元系列での表現は記述が煩雑であるという難点を持つ。

#### (3) の場合

(1), (2)を含む一般的な場合で、Fig. 4 は破線で囲まれた部分構造Aを部分構造Bに変更する例を示している。

使用者がこれらの操作をおこなうとき、

- 現在構成されているデータ構造を表わしている外部表現モデル
- 変更手続を簡単に記述する方法などが開発されれば操作は容易となる。

### 3. データ構造

構造を持つデータを格納する場合、構成要素であるデータと要素間の関係を示すデータを格納しておかなければならない。このために種々の構成方法が研究されてきた。それらの中で、データ要素間の関係を3リングを用いて表現する方法は、構造の柔軟性が高く関係の変更にも重点の置かれる処理に適している。

本システムのデータ構造は、この3リング構成を基本としており、ファイル機能をコンパクトに実現するためデータ要素の所属を示すリングが設定されている。また、従来のリングでは、リングスタートは一個であったが、本データ構造においては複数個のリングスタートが同一リング上に存在するという意味で表現の拡張がなされている。

#### 3.1 構成要素

本稿のデータ構造は、「データセル」、「リングスタートブロック」、「アソシエータ」、「ユニバーサルスタート」の各要素をリング状に結合することにより構成される (Fig. 5 (次頁参照))。

データセルは、データ要素を格納するセルで、 $U$ ,  $M$ ,  $L$  の各リングのリングスタートを持つ。 $U$ リングはデータセルの所属を表わし、ファイルの構成に用いる。 $M$ リングはリングタイとしてアソシエータを持ち、データセルへ入る関係を示す。 $L$ リングはリングタイとしてリングスタートブロックを持ち、データ

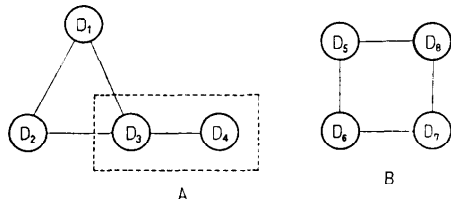


Fig. 4 An example of the case (3)

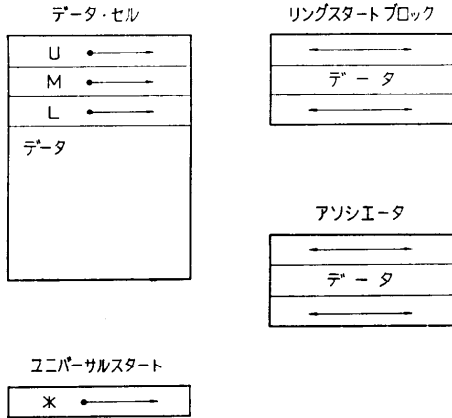


Fig. 5 The construction elements of the data structure

セルより出る関係を示す。データ部はセルの固有名と任意長のデータ列を格納する。

リングスタートブロックは、データ部に関係の種類を保持し L リングと A リング\* を結合させるセルである。

アソシエータは、データ部に結合の順序やリングをたどる場合のフラグなどを保持し、M リングまたは U リングと A リングを結合させるセルである。

ユニバーサルスタートは、構造の構成、登録されたデータの探索などの基点となるセルである。

### 3.2 構造を持つデータの表現

データ構造に保持されるデータは、データ要素と要素間関係を示すデータとに区別される。本データ構造は、データ要素をデータセルに保持し、要素間関係のデータは、L, A, M のリングをリングスタートブロック、アソシエータで結合させる事により表現保持される。

複数種類のデータを同時に格納する場合、従来の構造ではファイルごとにデータ構造を作成するか、所属関係を示すテーブルなどを個別に作成しなければならず、もしくは同一リング上に意味の異なるアソシエータが混在することとなった。これらの点を補うため、本データ構造では U リングを設定することにより所属ファイルを構成し、複数種類のデータを格納している (Fig. 6, 7, 8 (a))。

### 4. 格納データと外部表現

データ構造内に格納されているデータは、データ要

\* リングスタートブロックとアソシエータを結合することにより、データセルを関係づけるリング。

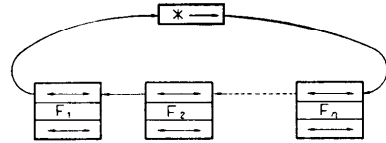


Fig. 6 The registration of files.

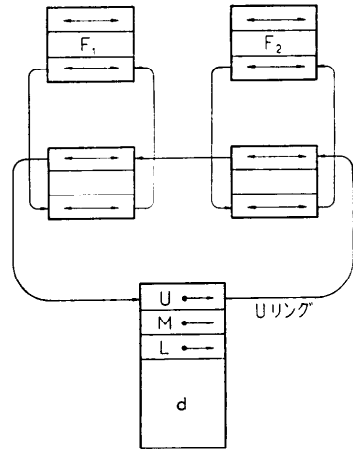


Fig. 7 The example of the data cell belonging to two files

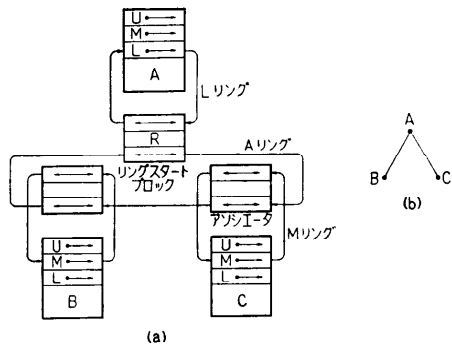


Fig. 8 An example of a structure indicating adjacences of a data cell A to B, C (a), and its external expression by a labeled graph (b)

素をラベル付頂点、要素間関係を弧とするラベルドグラフにより表現される。Fig. 8 (a) は、データ要素 B, C が共にデータ要素 A に関係づけられている例である。このデータより得られる外部表現 (関係グラフ) は Fig. 8 (b) となる。

### 5. データ構造の操作

外部表現モデルとしてラベルドグラフを用いると、

データ構造の変更手続きは、グラフの書き換え手続きとして表わされ、ポインタの付け替え等の具体的な操作の記述が不要となる。

ウェブ文法\*は、関係記述文法であり、グラフの書き換えをおこなうことができるため、外部モデルの書き換えによるデータ構造操作に適している。

データ構造に対する変更操作が可能であることは、操作を表現している書き換え規則が適用可能であることであり、書き換え規則の適用がなされることは、書き換えに対応する操作がデータ構造に対しておこなわれることを意味している。

### 5.1 書き換え規則

各書き換え規則は、

〈規則番号〉〈左辺グラフ〉→〈右辺グラフ〉  
〈像指定〉

の形で表わされ、規則の適用により、左辺グラフで示されたデータの構造は、右辺グラフの示す構造に変更される。

構造の変更される部分と変更されない部分との隣接関係は、像指定により指定される。像指定は、

$$I_m(m_1, m_2, \dots, m_k) = n_1, n_2, \dots, n_l$$

の形で表わされる。すなわち左辺グラフの頂点  $m_i$  ( $i=1, \dots, k$ ) に相当するデータ要素と隣接していたデータ要素は、右辺グラフの頂点  $n_j$  ( $j=1, \dots, l$ ) に相当するデータ要素すべてに隣接することを示している\*\*。書き換え規則は、データ構造内の規則ファイルに保持される。

### 5.2 書き換え規則適用条件の判定

書き換え規則は、その左辺グラフに相当する部分構造がデータファイル中に存在し、かつ部分構造を表わしている関係グラフが元の構造を表わしている関係グラフのインデューストサブグラフ\*\*\*となっておりときに適用することができる(文献1)。定義2.3, 2.4)。

Fig. 9 の例においては、 $G$  に対して、 $G_1$  を左辺

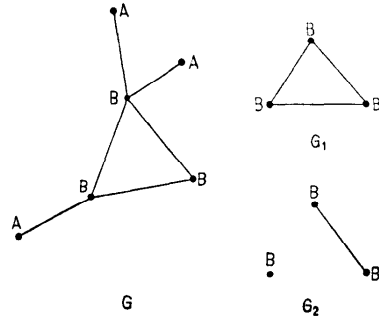


Fig. 9 The host graph  $G$  and its two subgraphs  $G_1, G_2$

グラフとする書き換え規則は適用可能であるが、 $G_2$  を左辺グラフとする書き換え規則はインデューストサブグラフとならないため適用できない。

データファイル中の変更しようとする部分構造と、規則ファイルより読み出された書き換え規則の左辺グラフに相当する構造とが比較され、同型か否かの判定がなされる。

部分構造は、その部分グラフに含まれる頂点すべてを指示\*\*\*\*することにより指定される。

#### ○ データ要素の判定

データ要素の照合は、現在表示されている関係グラフの指示された頂点の座標により、規則テーブルが書き足され、そのラベルと位置を持つ頂点に相当する要素がデータファイル中に存在するかがデータ構造パッケージのデータセル探索機能で判定される。

#### ○ データ要素間関係の判定

定義により、書き換え規則左辺グラフのすべての関係が適用を受けるべき関係グラフ中に存在し、かつそれ以外の関係が存在してはならない。このため、存在しなければならない関係、存在してはならない関係がそれぞれデータセル間の関係探索機能により判定される。

### 5.3 構造の変更

書き換え規則の左辺グラフが表わす構造と、指定された部分構造が同型であることが確かめられると、規則の右辺グラフで表わされる構造への変更をおこなう。

構造の変更は、もとの構造の変更されない部分と変更部分との関係(うめ込み)を像指定により保存する必要がある。変更手続きは以下の順序でおこなう。

i) 右辺グラフと同型である関係グラフが表示される位置を指示することにより、規則テーブルが書き足

\* ウェブ文法

ウェブ文法は形式文法の一つで、左辺、右辺がラベルドグラフよりなる書き換え規則を持ち、規則の適用によりグラフを導出していく文法である。

本システムで運用可能な 0 型ウェブ文法  $G$  とは、文法  $G$  のすべての書き換え規則  $(\alpha, C, \beta, E)$  において  $\alpha = (N_\alpha, F_\alpha, A_\alpha)$ ,  $\beta = (N_\beta, F_\beta, A_\beta)$  とするとき、 $0 < |N_\alpha| \leq |N_\beta|$  ( $|N|$ : グラフ  $G$  の頂点数) の成立するものをいう。詳しくは文献1)を参照されたい。

\*\* 文献1)によれば、左辺グラフ頂点は必ず像を持たねばならないが、本システムにおいては、像を持たない頂点が存在してもよい。

\*\*\* グラフ  $G$  の頂点の部分集合を  $S$  とするとき、 $S$  を頂点集合とする  $G$  の極大な部分グラフ。

\*\*\*\* このとき指示された部分グラフは、インデューストサブグラフである。

される。このテーブルにもとづき右辺グラフの表わしている構造をデータファイルに登録する。

ii) 左辺グラフと同型な関係グラフを構成しているデータ要素間の関係をデータファイル中より消去する。消去はAリングとMリングを結合しているアンシユータを除去する関係消去機能によりおこなう。

iii) 左辺グラフの頂点の内、像指定されている頂点に相当するデータ要素を探索する。探索された要素と隣接関係にある要素を隣接要素探索機能により探し出し、像指定の右辺グラフ頂点に相当するデータ要素と関係づける。

iv) 左辺グラフと同型な関係グラフの頂点に相当したデータ要素をデータファイル中より消去する。

Fig. 10は、書き換え規則(1)を関係グラフGに適した例である。

6. システム

本システムはFig. 11に示される各手続き部により

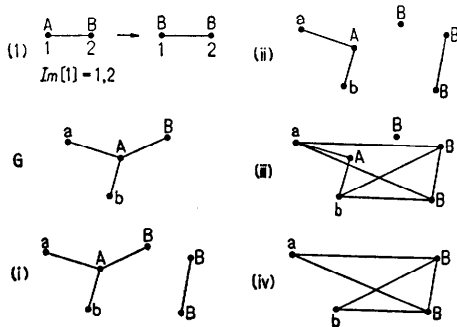
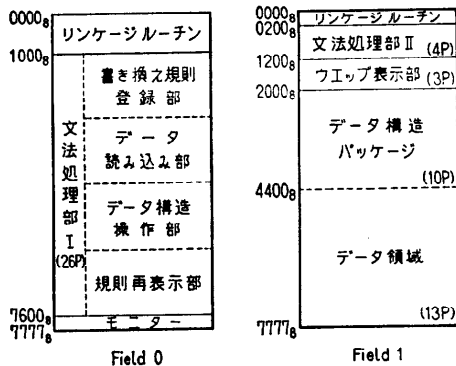


Fig. 10 The internal rewriting procedure



Field 0 Field 1  
Fig. 11 The load map

\* テーブルを作成する作業領域の制限により、3(左辺グラフ頂点数+右辺グラフ頂点数)+(左辺グラフ辺数+右辺グラフ辺数)+(左辺グラフ像指定頂点数+右辺グラフ像指定頂点数) ≤ 50

\*\* CRT画面は1024×742に区切られている。頂点は指示の容易のため、3単位近傍において同一点とみなされる。

構成され、

- データ格納
- 書き換え規則登録
- データ構造の操作

のモードで動作する。

書き換え規則としては非正規0型まで用いることができ、運用はグラフィックディスプレイ装置を介して対話形式でおこなわれる。

6.1 書き換え規則の内部表現

書き換え規則は、適用ごとに規則ファイルより読み出され、そのつど解釈実行される。また登録後には規則は変更されない。このため書き換え規則は、ファイル内での取り扱い及び実行時の解釈を容易とするテーブル型式\*で表現し格納している。

○ 関係グラフの入力

関係グラフは、CRT画面\*\*上で各頂点の位置を指示することにより入力する。辺は指定しない限り一指示前の頂点との間に存在するとみなされる。

関係グラフは、頂点の指示ごとにFig. 12の型でスタックされる。F部は先の頂点との隣接関係、L部は頂点につけられたラベル、N部は場所のラベル、X、Y部はCRT画面上の頂点座標を保持する。

場所のラベルは入力時にシステムにより割り当てられ、F部は先の頂点と隣接関係があれば0、なければ1を保持する。

頂点が入力された時スタック内に同一視される頂点が存在すれば、同一視される頂点のラベル、座標が現在入力された頂点のラベル、座標であると解釈され、入力頂点のL、N、X、Y部が書き換えられる。

このスタックをもとに頂点と辺の格納用テーブルを作成する(Fig. 13, 14(次頁参照))。

6.2 データ構造パッケージの機能

データ構造の部分はパッケージ化されており、単独に高水準言語(FORTRANなど)で外部手続きとして呼び出すことにより使用することもできる。

そのために、構造を操作する基本的な機能をマクロ

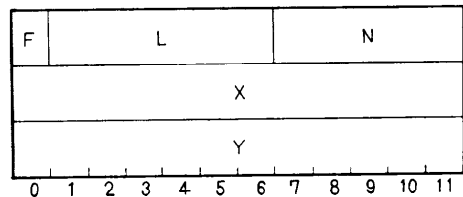
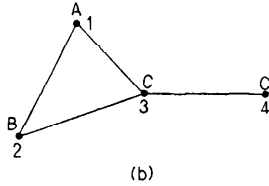


Fig. 12 The storage form for a vertex

1	A	1
$x_1$		
$y_1$		
0	B	2
$x_2$		
$y_2$		
0	C	3
$x_3$		
$y_3$		
0	A	1
$x_1$		
$y_1$		
1	C	4
$x_4$		
$y_4$		
0	C	3
$x_3$		
$y_3$		



(a)

Fig. 13 The internal expression (a) of the input web (b)

規則番号
表示基準座標
左辺ウエップ頂点
0 0 0 0 a
左辺ウエップ辺
0 0 0 0 a
右辺ウエップ頂点
0 0 0 0 a
右辺ウエップ辺
0 0 0 0 a
像指定
0 0 0 0 a

Fig. 14 The rule table

Table 1 The calling forms and their functions of the data structure package

名称	引数形	機能
INT	—	データ構造の初期化
FLE	<file name>	ファイルの登録
FLD	<file name>	ファイルの消去
NDE	<data-cell name> [<data>]	データ・セルの登録
NDD	<data-cell name>	データ・セルの消去
RLE	<data-cell name 1> <relation> <data-cell name 2>	データ・セル間の関係の登録
RLD	<data-cell name 1> <relation> <data-cell name 2>	データ・セル間の関係の消去
NDC	<data-cell name> <data>	データ・セル内部の変更
SCH	<data-cell name> <address>	データ・セルの探索
ACH	<data-cell name 1> <relation> <data-cell name 2>	データ・セル間の関係の探索

化し, Table 1 の機能を設定している。

### 7. 運用例

本システムはホストシステムと組合せて運用されるが, システムの書き換え能力をもちいてグラフを取り扱うシステムとして単独に運用することもできる。

その一例として, Fig. 15 は,  $C_6H_{12}$  飽和鎖状炭化

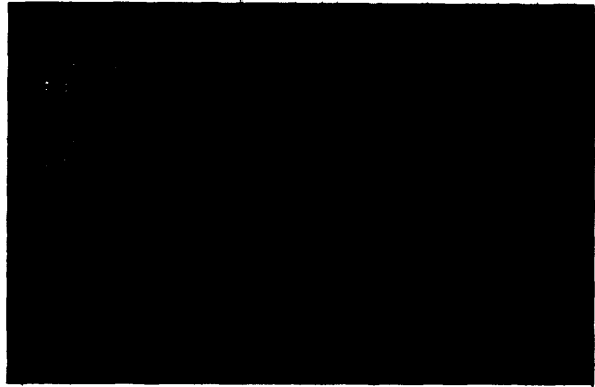


Fig. 15 (1) rewriting rules



Fig. 15 (2) primitive elements



Fig. 15 (3)-1 isomers



Fig. 15 (3)-2

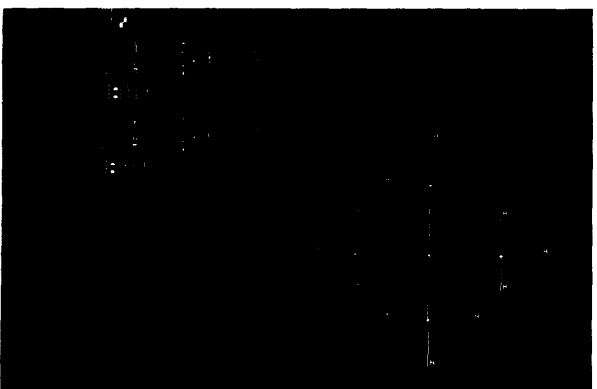


Fig. 15 (3)-3

Fig. 15 An example of isomers of  $C_5H_{12}$ 

水素の異性体をもとめるのに用いた例である。Fig. 15(1)の書き換え規則のもとにFig. 15(2)の入力データを組合せ、Fig. 15(3)-1, 2, 3の異性体を得ている。Fig. 16(次頁参照)は、グラフの生成に用いた

例で、すべてのブロックがサイクルよりなる分離可能なグラフが生成されている。

## 8. むすび

本論文では、データ構造内に格納されているデータの、関係をラベルドグラフを用いて外部表現し、構造変更の手続きをウェブ文法の書き換え規則で表わすことにより、構造操作をグラフの書き換えとしておこなうデータ構造操作システムについて述べた。

本システムは、最も書き換え能力の高い非正規0型書き換え規則による操作を、グラフィックディスプレイ装置上で対話型式でおこない、組合せるホストシステムのデータ操作や、単独にグラフの処理問題に使用することができる。

しかし、グラフをCRT上に表現することは各頂点に位置をあたえることとなり、現在は画面をジョイスティックで指示することにより、書き換え操作の適用場所の指定をおこなっている。また、データ領域が主記憶装置上だけであるため、 $K_{19}$ グラフ程度のデータの保持が限度である。

今後の問題として、二次記憶装置を利用することにより、格納データ量の増大をはかるとともに、プログラムによる規則、適用場所の指示の併用などを検討中である。また、化学構造式の取り扱いにおいては、現在の規則適用条件が必ずしも反応の機構を表わすのに最適とはいえない。そのため、たとえばベンゼン核の、o, m, p配位などに見られる反応機構を反映した書き換え規則、適用条件、うめ込みの指示等の検討が要求される。

おわりに、本研究に対し懇切な検討をしていただきました大阪大学水本雅晴氏、江澤義典氏、三上和敬氏および田中研究室の諸氏に感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) 安部, 水本, 豊田, 田中: ウェブ文法と二・三のグラフ, 信学論(C), Vol. 54-C, No. 12, p. 1149 (昭 46-12).
- 2) 安部, 水本, 豊田, 田中: ウェブ文法によるグラフの表現, 情報処理, Vol. 13, No. 7, p. 452

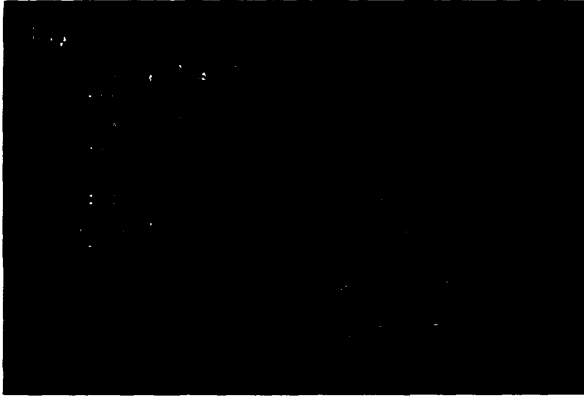


Fig. 16 An example of a separable graph

- (昭47-07).
- 3) J. C. Gray: Compound data structure for computer aided design; a survey, Proc. ACM. 20th N. C. (1967).
  - 4) C. A. Lang and J. C. Gray: ASP - A Ring Implemented Associative Structure Package, Comm. ACM, Vol. 11, No. 8, pp. 550~555(1968).
  - 5) K. Torii, Y. Sugita, Y. Mano: GMS/I: An interactive graph manipulation system, 1st. U. S. A.-Japan Computer Conference, 1972, proceeding, p. 593.
  - 6) 山本, 安部, 豊田, 田中: ウェブ文法とその管理システム, 信学会, オートマトン研資 (昭 47-1).

(昭和49年7月24日受付)  
(昭和49年10月15日再受付)