

プロセスプランニングエキスパートシステムの研究

正員 小山 健夫* 正員 大和 裕幸*
正員 立久井 正和** 正員 上野 善信***

A Study on the Process Planning Expert System

by Takeo Koyama, *Member* Hiroyuki Yamato, *Member*
Masakazu Tachikui, *Member* Yoshinobu Ueno, *Member*

Summary

The process planning expert system is discussed in this paper. The parts and structure to be constructed are expressed in terms of the Entity-Relationship model. The expert system has three particulars. At first, the production system is based on the modified Role method which was developed on the previous work of authors. Secondly, this system can recognize the substructure in the whole structure. The substructure is also process planned and treated as an assembly in the process planning of the whole structure. Thirdly, the process planning expert system consists of sub expert systems. Each sub system is in charge of the production at each stage, such as the Role generation, substructure recognition, process planning of the whole structure and so forth. With using this system, the system can save execution time and it can be made very clearly. The system was applied to the simplified structure of one block near the midship. The system proved its ability to give an appropriate process planning.

1. 緒 論

筆者らは昨年より、プロセスプランニングエキスパートシステムの研究を行ってきた^{1),2)}。昨年度中に基礎的な枠組すなわち、構造物の表現法、Role法と名づけたエキスパートシステムの推論手法、オブジェクト指向言語の利用などについて考察し、船の二重底構造1ブロック分程度のプロセスプランニングの行えるシステムを試作した²⁾。このシステムでは、例題として扱った構造物については適応できるが、船全体のプロセスプランや船以外の構造物に対して適用しようとするデータ入力が増えたり、ルールを新たに作らなくてはならなかったり、部分構造の設定などもできず、推論の柔軟さや汎用性、現実性に欠けるシステムであった。本年度は、そのシステムを基にして、1) Role法を拡張した、より汎用性のある推論手法、2) 中組立、小組立を表現するサブプロセスの導入、3) 分散型プロダクションシステムの独立分散配置による推論の効率化、の三点を中心に、システムの改良を行った。試作システムにより簡略化した船体中央部1ブロック分のプロセスプラ

ニングを行ない、良好な結果を得た。

2. プロセスプランニングシステムについて

ここでいうプロセスプランニングシステムは設計が終了し、完成図と個々の部品が定義された段階から、それらの部品を無理矛盾なく組立てていく手順を与えるものである。現在は、完成図面から、自動溶接機の数や、反転に必要なクレーンの容量など工場設備の状況を勘案しながら、全体構造が部品のつけおとしや作業の手もどりなどが発生しないように手順を決定している。これをエキスパートシステムで行うには、全体構造と個々の部品を計算機の中に適切なデータベースとして保持し、一方、現在のプロセスプランナーの持つ知識、すなわち、下にあるものをつけてから上にのるものをつけるという一般的な知識や、部分構造のとり出しかた、それぞれの工場の機能に関する知識等をルールベース化し、このデータベースとルールベースに関して、推論エンジンを動かし、組立手順を得ることになる。このプロセスプランニングシステムは、これ自体で有力なシステムであるが、CIMシステムの中では更に重要な役割を果たす³⁾。設計終了後にこのシステムによって、組立手順を得、その結果からCIMの中で下流に位置するスケジューリングシステムや、在庫管理システムが起動される⁴⁾。スケジューリングに必要な作業時間/工数等の算出も

* 東京大学工学部船舶海洋工学科

** 伊藤忠商事 情報システム企画部

*** 新日本製鉄

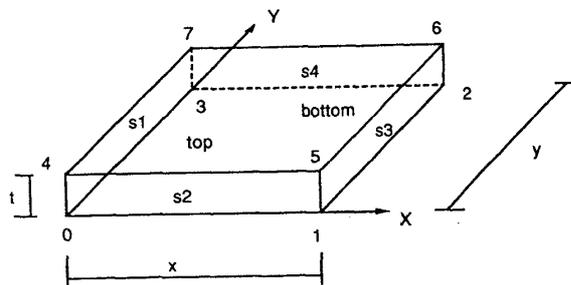
プロセスプランニングの結果から求めることができる。

3. 部品と完成構造物の表現方法

プロセスプランニングを行うには、個々の部品とその全体構造を明確に記述する必要がある。これについても、前著論文²⁾で検討した Entity-Relationship model⁵⁾をそのまま踏襲している。Entity と言うのは個々の部品そのものであり、計算機内にはその部品の形状を定義するのに必要十分なデータ構造として保持される。Relationship (以下 Relation と記す。)は、部品と部品の接続の様子を表しており、全体構造物はその Relation の集合として表される。また、プロセスプランニングの結果は Relation の並びかえで表現できる。

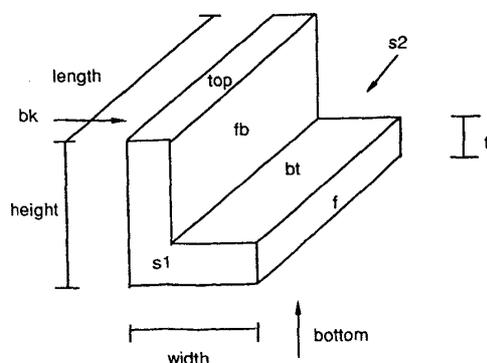
3-1 Entity

本研究では、当面の目標を船体中央部構造としているため複雑な自由曲面などはとりあえず対象から外し、矩形平板とスティフナーのみとした。Fig. 1 に Entity のデータの内容とその形状定義の様子を示す。データ構造としては両者とも極めて単純である。しかし、図中に示すように各 Entity ごとのローカルな座標に対して、各辺や角、面の名称が定義され、それによって部材間の Relation を定義できる。



data structure: Plate(label, x, y, t)

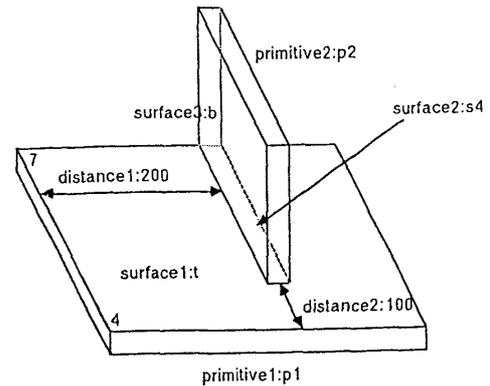
(a) Plate Entity



data structure: Stiffener(label, length, width, height, t)

(b) Stiffener Entity

Fig. 1 Plate and Stiffener Entities



Relation (primitive1:'p1' primitive2:'p2' surface1:'t' surface2:'s4' surface3:'b' edge:74 distance1:200 distance2:100)

Fig. 2 Relation Between Two Plates

3-2 Relation

Relation の例を Fig. 2 に示す。このような簡単な定義であるので、板同士が斜めに付いている状態等は表現できない。尚、前著論文²⁾では、上記以外に Hole と Slot という穴と溶接スロットを表現するための Entity を設けて、穴あけ作業等を表現できるようにしていたが、実際には部品の段階でそれらは付加されているため不要と考え、今回は使用しなかった。

4. 構築したプロセスプランニングエキスパートシステム

本研究で構築したシステムについて、その基礎となった前著論文²⁾でのシステムと対比させて述べる。まず、前著同様、本研究でも Smalltalk-80 の上にシステムを構築している。if——, then——形式の前向き推論中心のプロダクションシステムを使用しているが、Smalltalk-80 の環境下で使用できるツールがなかったため、筆者らの研究室で作成した OPS 83 と同様のシステムを使用した^{6),7)}。今回構築したシステムでは、前著論文²⁾のものに加えて、1)改良型 Role 法を用いた推論、2)部分構造の活用、3)分散型エキスパートシステム、の導入により機能を拡張している。

4.1 改良型 Role 法による推論

前著論文²⁾において、部材名称を Role として定義し、これを用いて効率よく推論を行えることを示した。しかしながら、このために一つ一つの部品に対してその部材名称を入力したり、また部材名称によって取付順序を決定するために、推論の柔軟性、システムの汎用性が失われる。また多層構造についても考慮されていなかった。本研究では、これらを踏まえて、簡単な二重底構造だけでも 11 個あった Role を部品の機能を表現するのに必要な Horizontal Plate, Vertical Plate, Bottom Longitudinal, Top Longitudinal の 4 個に減らし、また多層構造に適用するため階数を表す属性値 Floor を設けた。Role と Floor の定義は Fig. 3 に示すようである。これにより推論の柔軟性とシステムの汎用性を付加することができる。さらに、この Role

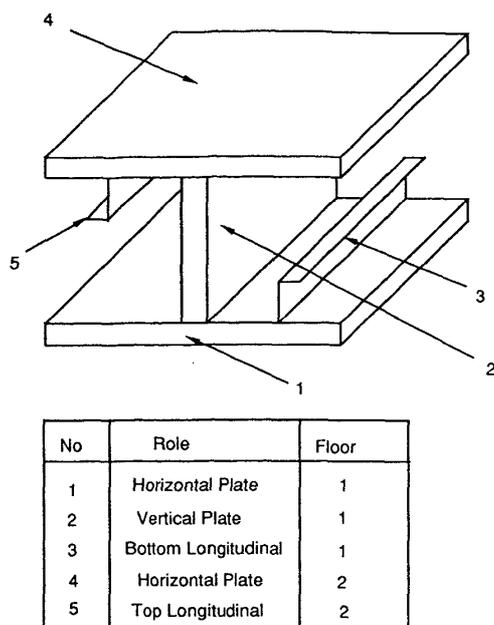
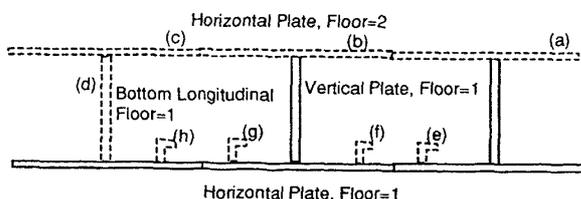


Fig. 3 Role and Floor

と Floor は、base になる板から Relation を追いかけていくことで自動的に各部品に設定する推論システムを作成し、入力もはるかに簡素化されている。この Role と Floor を用いた推論を前著論文²⁾の Role 法に対して、改良型 Role 法と呼んでいる。次に改良型 Role 法による推論手順を二重底構造を例にして Fig. 4 に示す。実線部はすでに取り付けられており、破線部は今後取り付ける部材とする。各部品は Role と Floor が決められており、一方 Role の間には先行、後続関係が定義されプロダクションシステムのルールになっている。図中、 $A > B$ は、B は A より先に取り付けるという意味である。今、この構造物には(c)をのぞくすべての部品が取付可能である。システムはまず取付可能な部品を一つ選んでくる。それを(a)とする。つぎに

Example : Double bottom structure



Rules:	
Horizontal Plate, Floor=n	> Horizontal Plate, Floor=n
Vertical Plate, Floor=n	> Bottom Longitudinal, Floor=n
Bottom Longitudinal, Floor=n	> Horizontal Plate, Floor=n
Horizontal Plate, Floor=n	> Vertical Plate, Floor=n-1
Vertical Plate, Floor=n	> Horizontal Plate, Floor=n

Fig. 4 The Modified Role Method

プロダクションルールを用いて(a)に先んじて取り付けるべき部品を探す。すると(c)以外のすべてが(a)より先につけなくてはならず(a)は取付候補からはずされ、取り付ける部品の待ち行列の先頭に入る。同時に競合解消が行われ、たとえば(d)が次に取り付けるべき部品として選択されたとする。今度は(d)について同様に Role と Floor を用いた推論が行われ、(d)よりも4本のスティフナー(e), (f), (g), (h)の方が先に取付るべきことがわかると、(d)は待ち行列の最初にいれられる。次にスティフナー(e), (f), (g), (h)のうち一つが選ばれる。このとき Role の観点からはどれをつけても良いが、そのような場合には更にルールが追加されており、取り付く構造物の中心線に近いものから順につけていくことになる。一つの部品の取付が終わると待ち行列の先頭にいる部品を取付候補として次の取付部品を決定する段階に進む。

4.2 部分構造の導入

現実の建造では板やスティフナーを一枚一枚全体構造に組み入れることはなく、部分構造を組み立ててから全体構造に組み込む。前著論文²⁾のシステムでは、この部分構造を考慮することができない。本研究では部分構造を見つけだし、部分構造についてプロセスプランニングを行い、それを一つのまとまりとして全体構造のプロセスプランニングのなかに入れる為のプロダクションシステムを作っている。本システムでは Vertical Plate をベースにしてそれに取り付ける部品を一つの部分構造として作るようにしてある。例えば、船側構造は一つの部分構造として組み立てる。この部分構造を組み立てる際には Vertical Plate をベースにするため、その部分構造内で Role の再構成を行ってからプロセスプランニングシステムに入れている。

4.3 分散型エキスパートシステムの利用

以上の二点について説明してきたように、前著論文²⁾のシステムでは単一のエキスパートシステムですんでいたが、本プロセスプランニングシステムでは Role を決めたり、部分構造を見つけたりと、いくつもの異なる機能を持ったサブエキスパートシステムから構成され、大型化している。これらを一つのエキスパートシステムとして、いわゆる goal エレメントにより各段階をおって推論を進めていくことはできる。しかしながら実際にエキスパートシステムを作成する段階から、個々のまったく異なる機能は一つずつまとめて扱った方が作り易く、また各段階で必要なルールベースのみを参照するようになるため計算時間も減少し、システムの効率化につながる。また計算機が複数のcpuを持つような時には並列的に処理することも可能になる。本システムでは、Fig. 5 のような流れでプロセスプランニングを行っているが、図中の枠の部分はそれぞれ独立したエキスパートシステムになっており、全体を統括するエキスパートシステムからのコマンドによりワーキングメモリーを生成して推論を開始し、結果をまた統括するエキス

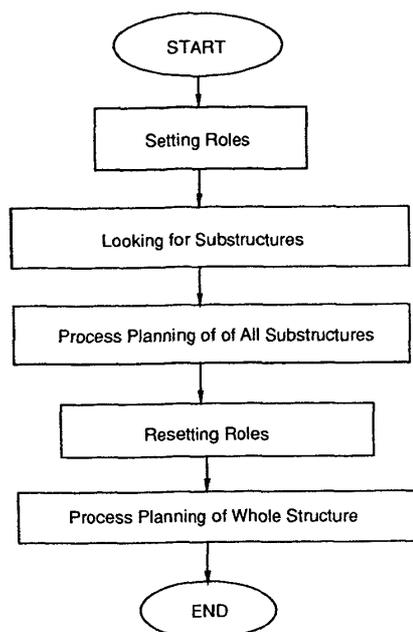


Fig. 5 Flow of the Process Planning Expert System

パートシステムに戻す。このようなオブジェクト指向的な分散型エキスパートシステムは、プロセスプランニングのような問題には適していると考えられる。

5. 例 題

以上に述べてきたようなプロセスプランニングシステムを試作し、Fig. 6に示す船体の中央部1ブロックを簡略化した例題について実際にプロセスプランニングを行ってみた。長さ10m、幅8m、高さ5.5mで、二重底構造になっておりセンターガーダ1本、サイドガーダが各舷1本、フロアが4本ある。ピルジサークルは省略し、船側外板と船底外板を延長して直角に取り付けてある。部品点数としてはPlateが90本、Stiffenerが32本あり、部品間のRelationは213個ある。プロセスプランニングの結果をFig. 7に示す。まず、(a)ではキールプレートが置かれる。次に船底外板が作られ、その上にスティフナーが置かれる。(b)では、センターガーダとドッキングブラケットが部分構

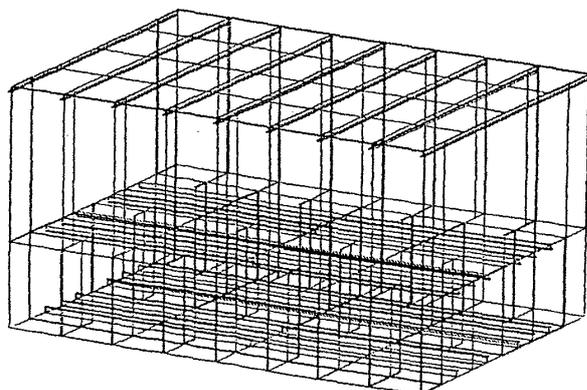


Fig. 6 The Simplified Midship Structure for Trial

造としてつくられ船底外板の上におかれる。さらにドッキングブラケット、フロア、サイドガーダ、マージンプレートとそのブラケット等が適宜部分構造となりながら取り付けられる。(c)以下(d), (e)では、全体の組立をMain Processに、同時に生ずる部分構造をSubprocessの中に示してある。(c)ではスティフナー付きの内底板の部分構造が作られてから全体構造に取り付ける。内底板の取付が終わると(d)のように船側部全体を部分構造として組立て、全体構造に取付け、次に(e)ではデッキ全体を部分構造として作ったのち全体構造に組み込んで、(f)のように完成する。細部では、検討を要するところもあるが、それらは適切なルールの追加により改善は容易であり、全体構造が部分構造やそれに含まれない部品とに分かれてうまく組み立てられている。また、これらの順序は計算機内のメモリーに残されており、それを用いてCIMの下流に位置するスケジューリングや在庫管理などの諸プロセスへの入力データにすることができる。

6. 結 論

以上システムの検討と、実際のシステムの試作を通して得られた結論は以下のようである。

- 1) Entity-Relationshipモデルによって部品と全体構造を表現し、改良型Role法による推論を行うことで、プロセスプランニングエキスパートシステムを構築できることがわかった。
- 2) 部分構造を取り入れることにより、より現実的な工作手順を考えることができる。
- 3) 分散型エキスパートシステムにより明瞭にシステムを構成でき、推論時間も節約する可能性がある。

更に今後はEntityの種類を増やし、またRelationの表現法も改良することにより、より一般的で船体全体のような複雑な構造物についても適用できるようにする必要がある。また工場設備についてのルールを追加していくことで工場のもつ機能をフルに活用できるようなプロセスプランニングが行えると考えている。

参 考 文 献

- 1) 上野善信, 立久井正和: プロセスプランニングエキスパートシステムの研究, 平成元年度東京大学船舶海洋工学科卒業論文(1990).
- 2) 小山健夫他: 構造物建造のためのプロセスプランニングの研究, 日本造船学会論文集, 第166号(1989), pp. 409-414.
- 3) 小山健夫: 総論(造船CIMにむけて), 造船におけるシステム技術, 日本造船学会システム技術委員会シンポジウム(1989), pp. 1-19.
- 4) 小山健夫他: 造船CIM構築のための工程管理システムに関する基礎的研究, 日本造船学会論文集, 第166号(1989), pp. 415-423.
- 5) Chen, P. P. S.: The Entity-Relationship Model

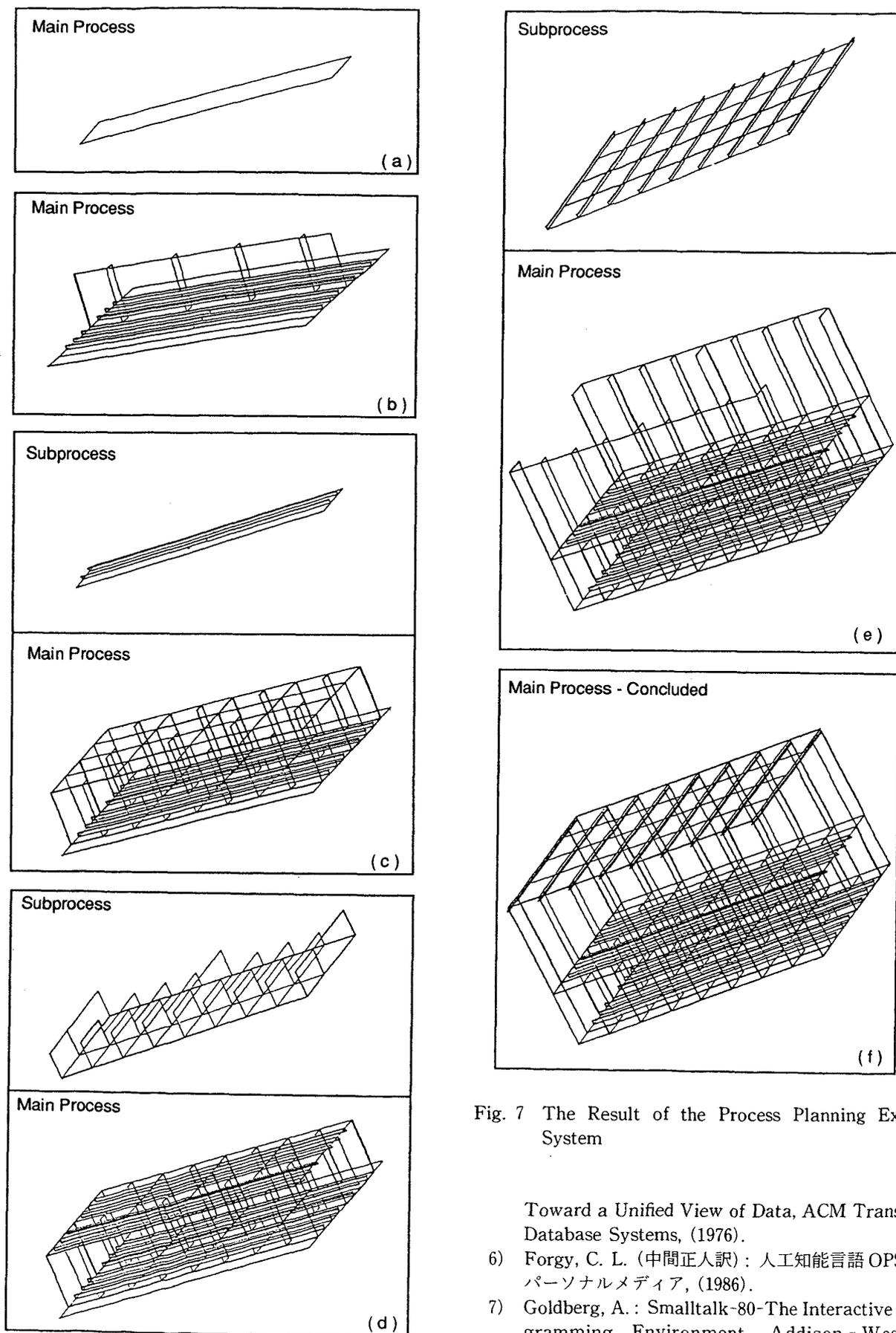


Fig. 7 The Result of the Process Planning Expert System

Toward a Unified View of Data, ACM Trans. on Database Systems, (1976).

- 6) Forgy, C. L. (中間正人訳): 人工知能言語 OPS 83, パーソナルメディア, (1986).
- 7) Goldberg, A.: Smalltalk-80-The Interactive Programming Environment, Addison - Wesley, (1984).