

システム機器構成設計 エキスパートシステム

皆本義弘・佐藤 敬・浅見秋美・日高博文・伊串泰宣
沖電気工業株式会社

我々は、ミニコンピュータのシステム機器構成設計の自動化をエキスパートシステムの形で実現し、評価を行なった。本システムは、ハードウェア設計業務を支援するものであり、顧客の要求仕様をもとに、顧客との折衝業務に使用されるシステム構成案や見積書及び製造工程で必要となる部品の調達や組立指示用の製造図面を作成するエキスパートシステムである。ここで、ハードウェアはLisp専用マシンELIS、エキスパートシステム構築ツールはKBMSを使用した。本システムの実行結果を見ると、知識処理部のCPU時間は10分以内である。また、TATは人手設計の1/10に短縮され、システム構成案の設計品質も人手並みの結果を得ているため、本エキスパートシステムの実用化の見通しを得た。

AN EXPERT SYSTEM FOR COMPUTER SYSTEM CONFIGURATION DESIGN

Yoshihiro Minamoto Takashi Sato Akimi Asami Hirofumi Hidaka Yasunori Igushi

Oki Electric Industry Co., Ltd.

10-3, Shibaura 4-Chome, Minato-ku Tokyo 108, Japan

We developed an expert system for computer system configuration design and evaluated it. This expert system supports hardware configuration design, and makes system configuration plan and written estimate for negotiation with user from user's request. Also it makes manufacture documents for procurement of units and framing. We developed this expert system by KBMS that is tool for expert system on Lisp machine ELIS. The result is that CPU time is less than 10 minutes, and that TAT is reduced to 1/10 of manual design and its design quality is almost equal to manual system configuration plan. So, we decide that this expert system is effective.

1. まえがき

近年、技術の進歩により、計算機システムの製品は、小型化・高機能化されそのライフサイクルは短くなってきている。一方、高度情報化時代に向けて、顧客の要求もますます多様化し高度化している。このため顧客の要求したシステムを構築するシステムエンジニア（SE）は、計算機製品及びネットワークに関する知識・経験が要求され、そのSE業務は、ますます大変になってきている。

我々は、このSE業務の質と効率の向上のために、まず、SE業務のうちハードウェア構成設計業務を自動化すべくエキスパートシステムの開発を検討⁽¹⁾・試作⁽²⁾し、評価した。本稿では、ハードウェア構成設計業務の現状の問題点、そのシステム概要と評価結果について報告する。

2. ハードウェア構成設計業務の現状の問題点

ハードウェア構成設計では、システムに対する顧客の要求仕様をもとに、顧客との折衝業務に使用されるシステム構成案や見積書は、SE・熟練設計者が作成し、受注システムの製造工程で必要となる部品の調達や組立指示用の製造ドキュメントは、中堅設計者が作成している。（図1）

ハードウェア構成設計は、構成設計、構造設計、製造設計、設置設計の次の四つの過程を経て行なわれる。（図2）

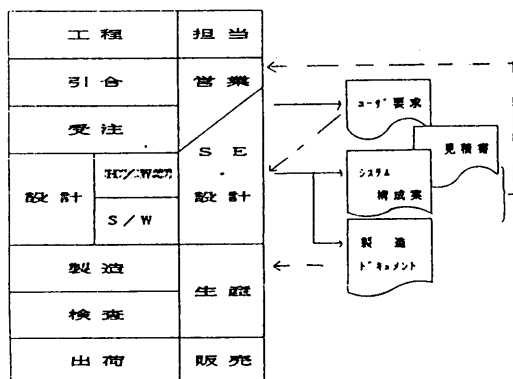


図1. システムの位置付け

①構成設計では、顧客の要求を実現するために、システムに望まれる信頼性、性能などを考慮して、シングルシステムや二重化システムなどのシステム構成法、周辺装置の種類や数及び通信回線の仕様などを決定し、システム構成図を作成する。

②構造設計では、①で決定されたシステム構成をハードウェアで実現する上で必要となるコンポーネント（PCB：Printed Circuit Board、ラック、キャビネットなど）の種類や数及び構造を決定し、システムブロック図などを作成する。

③製造設計では、②でリストアップされたコンポーネントを用いて装置の組立を行なうための製造図面を作成する。

④設置設計では、顧客のシステム設置場所をもとに機器の配置図を作成する。

構成・構造設計では、SE・熟練設計者が、単に自社の計算機製品の仕様の熟知以外に、システム構成法やネットワーク（たとえば、通信回線）などの広範囲の知識と長い経験から得られた信頼性（たとえば、取り扱うデータは予備構成を必要とするほど重要性が高いかどうか）や性能（たとえば、同時動作を保証する装置構成かどうか）・コスト（たとえば、単価の安い部品で代替可能かどうか）に関連する設計ノウハウを駆使して設計を行なっているのが実状であり、アウトプットTATが長いこと、また、設計者間の設計結果に差異があり設計品質が一定でないなどの問題を生じ

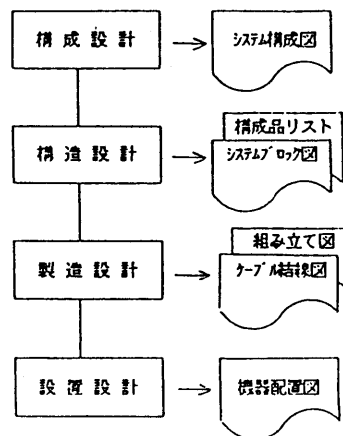


図2. 設計過程

ている。

また、製造・設置設計では、中堅設計者が、自社の計算機製品の仕様の熟知とその装置の組立や保守容易性などの標準化された設計ノウハウを駆使して設計を行なっているのが実状であり、製造図面作成においては、記入ミスが多いなどの問題を生じている。

従って、ハードウェア構成設計業務の質と効率の向上のためには、SE・熟練設計者及び中堅設計者の知識・設計ノウハウを有効活用する必要があり、そのためにはこの知識をもとにしたエキスパートシステムの形で自動化を実現することが望ましいと考えた。

3. エキスパートシステムの概要

3.1 システムの概要

本システムは、ハードウェア設計業務を支援するものであり、顧客の要求仕様をもとに顧客との折衝業務に使用されるシステム構成案や見積書及び製造工程で必要となる部品の調達や組立指示用の製造ドキュメントを作成するエキスパートシステムである。

3.2 システム構成

図3に本システムのシステム構成を示す。

本システムは、知識処理部と図面編集作画部より構成される。知識処理部では、ユーザ要求とし

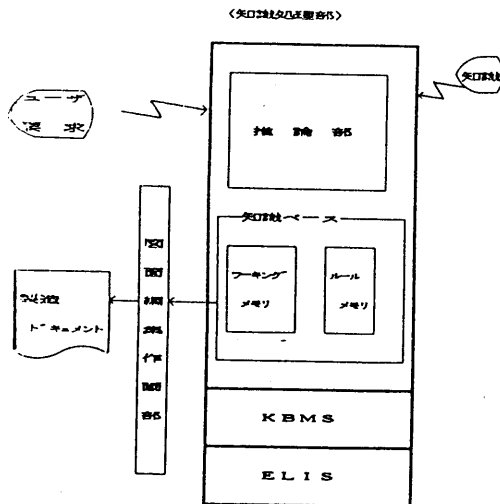


図3. システム構成

て、メモリ容量、周辺装置の台数、通信回線の本数などと制御パラメータを入力し、知識ベース化された設計者の知識・設計ノウハウを用いて、図4のように構成・構造・収容・設置・結線ルート設計の各工程で設計データを作成する。図面編集作画部では、その設計データを図面化し、編集出力する。

本システムの開発ではシステム構築の効率化を狙って、知識処理部はLISP専用マシンELIS上のエキスパートシステム構築ツールKBMSを利用し、図面編集作画部はパソコン上の既存図面作画構築ツールを利用した。

また、本エキスパートシステムの知識ベースの構成を図5に示す。システム構成案や製造ドキュメントは設計データとして、自社の計算機製品の仕様はコンポーネントデータとしてワーキングメモリに表現されている。設計ノウハウは、中堅設計者が下流工程で使用する標準化されているものについてはKHデータとしてワーキングメモリに、またSE・熟練設計者が長い経験を経て得た上流工程で使用するものは操作知識としてルールメモリに表現されている。さらに、ネットワークに関する知識は、使用可能なケースを規定してKHデータとして、システム構成法は標準的なケースを規定してコンポーネントデータとしてワーキングメモリに表現されている。

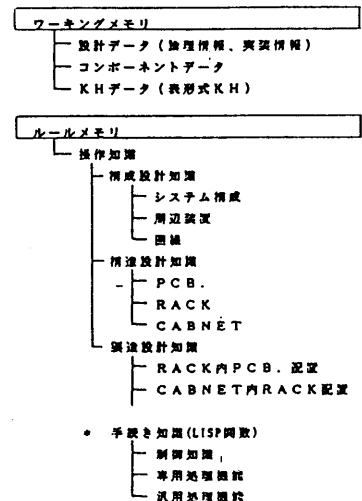


図5. 知識ベースの構成

4. 実現方法

4.1 知識処理部の処理概要

(1) 構成設計

ユーザの要求するメモリ容量、周辺装置の台数、通信回線の本数などの入力後、システム構成に必要な周辺装置や通信回線の種類を決定すべく、標準的なシステム構成ケースを提示して選択させ、また、周辺装置の構成可能なケースや使用可能な通信回線の種類を定義するKHデータを参照する際のキーワードを制御パラメータとして選択させ、それに基づいて、システムバスと周辺装置及び通信回線の、及びシステムバス間の論理的な接続関係を示したシステム構成法を決定する。

(2) 構造設計

(1)で決定されたシステム構成法をもとに、制御パラメータに応じて、周辺装置や通信回線とそれらを制御するPCBとの接続関係などを決定する操作知識を適用して、システムバスとPCB、周辺装置、通信回線の論理的な接続関係を示したシステムバスの内部構造を決定する。

(3) 収容設計

(2)で決定されたシステムバスの内部構造をもとに、キャビネット内に収容可能な構造を定義したKHデータを参照して、PCBとラック、ラ

ックとキャビネット間の収容構造を決定し、キャビネット内の配置を決定する。

(4) 設置設計

標準的なキャビネットの配置ケースを提示して選択入力させて、キャビネットの配置を決定する。

(5) 結線ルート設計

(3)、(4)で決定された配置情報をもとに、使用可能な接続ケーブルの種類や長さ、結線可能なルートを定義したKHデータを参照して、接続ケーブルの種類、長さ、及び結線ルートを決定する。

4.2 実現方法

知識処理部の処理を実現するために以下の方法を採用した。

(1) 知識の獲得

対象領域の設計知識を、設計対象知識（コンポーネントの仕様、各設計過程での設計データ）、設計操作知識（各設計過程における処理、全体制御）の二つの側面⁽³⁾から整理し、知識の獲得を行なった。ここで、知識獲得が困難である全体制御や各設計過程における処理に関しては、実際の設計例で性能や信頼性に依存する知識の適用例を設計者に説明してもらうことで知識の獲得を行なった。また、中堅設計者でもシステム構成案の設

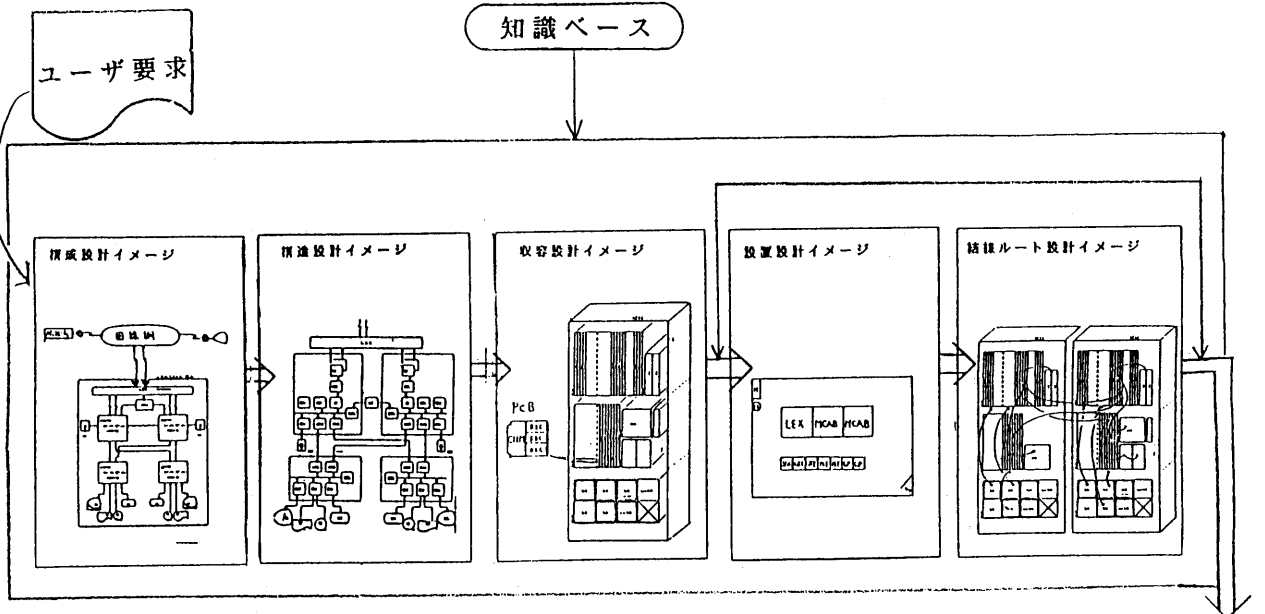


図4. エキスパートシステムの処理概要

図面作画へ

計を可能とするため、熟練設計者の知識を獲得し、これを標準化することを図った。

(2) モデル化

設計対象知識を表現するにあたり、コンポーネントの仕様を表わすコンポーネントデータと製造図面を表わす設計データのモデル化を行なった。モデル化において、一般のシステム機器構成設計問題に適用できるように、特定のミニコンピュータに依存しない構造とし、以下のようにモデル化した。

(a) コンポーネントデータのモデル化

コンポーネントデータのモデル化において、コンポーネントデータをシステムを構成するものと考えて、本体機器、周辺機器、接続ケーブル、論理構成の四つに大別した。本体機器とは、PCB、ラック、キャビネットのようにミニコンピュータの本体を構成する部品を表わすものであり、周辺機器とは、プリンタやCRTなどの周辺装置のように附属品として外部接続される部品を表わすものであり、接続ケーブルとは、本体機器同志あるいは本体機器と周辺機器を接続する部品を表わすものである。また、論理構成とは、標準的なシステム構成ケースを定義するものである。

(b) 設計データのモデル化

処理の効率化と知識獲得の容易化を狙い、設計データを分析して、論理情報、実装情報の二つに大別した。論理情報には、システムバスと周辺装置や通信回線と、システムバス間の論理的な接続関係を示すシステム構成情報、システムバスと、PCB、周辺装置、通信回線とのシステムバス内の論理的な接続関係を表わすバス内部構成情報などがあり、実装情報には、PCBや周辺装置とラック間の収容位置関係を表わすラック情報、ラックとキャビネット間の収容位置関係を表わすキャビネット情報、PCBとPCB間、PCBと周辺装置間などの結線方法や配線径路を表わすケーブル結線情報がある。

(3) 知識の表現

エキスパートシステムの実用化時点では、設計者による知識保守が必要となる。従って、設計者

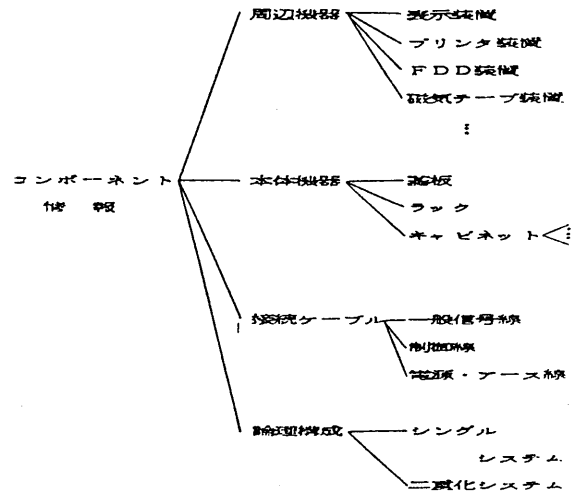


図 6. コンポーネントの仕様の表現

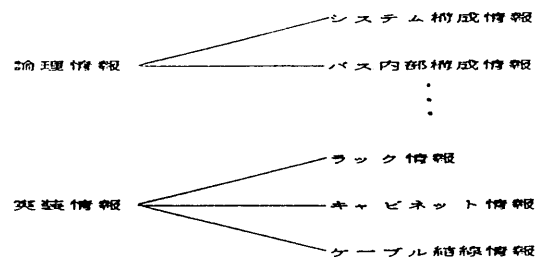


図 7. 設計データの表現

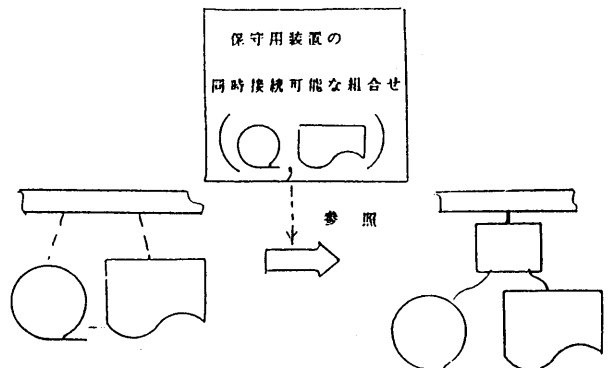


図 8. ルールの例

が扱いやすくするために、獲得・分類した知識から設計者の知識とエキスパートシステムの開発者の知識を分離し、設計者は設計者の知識を、開発者は開発者の知識を保守するような構造とした。

(a) 設計対象知識

設計対象知識の表現において、先にモデル化したコンポーネントの仕様と設計データの構造に忠実にフレームで表現した。ここで、知識の保守容易性を考慮して設計対象知識を設計者の知識と開発者の知識に分けると、前者についてはコンポーネントの仕様、後者については設計データが該当する。従って、設計者はコンポーネントの仕様に対して保守を行なえば良いようになっている。

(図6) (図7)

(b) 設計操作知識

まず、設計操作知識を分析し、処理の効率化のために手続きのできるところは手続きの手法で実現し、また、知識の保守容易性も考慮して、下流工程で使用する中堅設計者の標準化された設計ノウハウのように、表形式で表現できるところは表形式とし、設計者の知識の形に帰着させた。

次に、上流工程で使用する信頼性や性能などに関連するSE・熟練設計者の設計ノウハウの表現方法を以下のように試みた。

信頼性や性能などに関連するノウハウは、最終的にはソフトウェアで周辺装置や通信回線をどう制御しているかに依存するため稼働率やMTBFなどの項目への定量化が難しい。このため、信頼性(たとえば、稼働率やMTBF)、性能(たとえば、応答時間)、コスト(たとえば、全体の価格)の数値を指定してそれを満足する解を求めるかわりに、ソフトウェアに依存しない部分で標準的なシステム構成設計が行なえることを目標とし、このために必要な設計ノウハウの表現を以下のように行なった。

たとえば、周辺装置とチャンネル制御用PCBとの接続の決定の場合を考えると、周辺装置の種類が同じでも、周辺装置の用途やシステム構成などが異なると、接続方法も異なる。ここで、接続を決定する条件項目は、信頼性や性能などに関連す

る概念である。(たとえば、周辺装置の用途は信頼性に関連する概念の例である。)従って、これらの概念を制御パラメータとして選択させ、周辺装置の構成や通信回線の仕様を決定するキーワードとして扱うことを考えた。

ルールの表現は、ルールの条件部にこれらの制御パラメータを取り入れる構造とした。たとえば、「用途が保守用である周辺装置のうち同一のチャンネル制御用PCBに接続しても良い組み合わせが(A, B)であるとき、組み合わせに該当する種類の周辺装置があれば、同一のチャンネル制御用PCBに接続する。」のように表現する。この場合、知識の変更容易性を考慮して、もし将来組み合わせが変更になったときは、組み合わせの部分のみを変更すればよいような構造とした。ルールの例を図8に示す。

5. 実行結果

本エキスパートシステムの過去の設計例での実行結果を表9に、また、出力図面の例を図10に示す。

まず、CPU時間を見ると、10分以内で終了している。また、人手設計と比較すると、TATは1/10に短縮され、システム構成案の設計結果も人手並みの品質を得た。以上のことから、設計納期の確保、設計期間の短縮、設計品質の向上及び均一化、中堅設計者によるシステム構成案の設計が可能などの効果が見込まれ、本エキスパートシステムの実用化の見通しを得た。

表 9. 実行結果

システム名	主な入力項目					出力コンポーネント数					CPU時間:分	人手設計との比較	
	システム構成	メモリ容量:1	周辺装置種類数(1:100種類)	回路数	オプション数	回路	回路	PCB	SPACE	CPU		TAT:日	品質:1
A	9-11	4	6 (3)	6	-	12	12	60	12	3	3:11	0.99	1
B	9-11	4	13 (7)	12	0	30	24	90	15	3	3:11	0.99	1
C	8	2	9 (5)	44	0	18	88	72	7	2	3:16	0.99	1
D	9-11	4	9 (4)	44	0	18	88	180	20	5	3:18	0.99	1
E	9-11	4	13 (7)	96	0	26	118	154	22	5	3:17	0.99	1
F	9-11	4	11 (4)	110	0	22	156	111	23	5	3:13	0.99	1

・1: メモリ容量は、1199 PCB容量。
 ・2: 回路やチャンネル構成まででなく、CPU時間。
 ・3: コスト/信頼性/性能での品質比較。
 ・4: 無関係な回路のCPU時間。

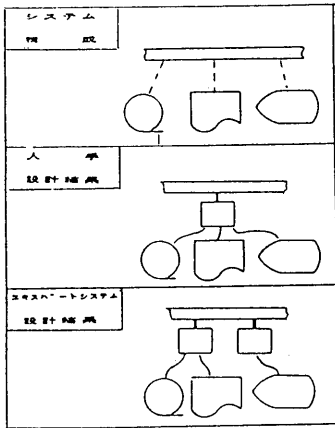


図11. 設計結果の相違点の例

的に結果を評価することができず、各共有系の全体のPCB枚数の均等化のみを考慮しているにすぎないからである。この部分の知識を組み込むには前述のように制御パラメータの定量的表現化が必要となり、簡単に組み込むことは難しい。

(2) 通信回線の制御PCB関係

Fの実行結果を調べると、人手設計の方が通信回線の制御PCB関係のPCB枚数が少ない。この理由として、エキスパートシステムでは、通信回線の制御PCBの負荷の均等化を重視しているのに対し、人手では、負荷に余裕があるせいかPCB枚数を削減し保守の容易性等を考慮した設計をしていることが挙げられる。この部分の知識を組み込むときも前と同様に制御パラメータの定量的表現が必要となり、簡単に組み込むことは難しい。

6. 2 処理時間に対する評価

今回の結果では、人手設計時よりもTATを短縮したため、所期の目的を果たしたといえる。そこで、今回採用した手法が処理時間に与える影響を調べてみることにした。

各設計過程に対する処理時間の分析結果を見ると、構成設計に対応する部分に要した時間が最も多い。この理由としては、周辺装置の台数分及び通信回線の本数分制御パラメータを選択するようになってきているが、制御パラメータの数が多いため値の入力に時間がかかることが考えられる。現在

制御パラメータの数は、13個であり、周辺装置構成の決定のために4個、通信回線の仕様の決定のために7個を必要としている。従って、通信回線の本数や周辺装置台数の増加に伴って入力量が増加するため、制御パラメータ数の統合による入力の単純化などの対策を講じる必要がある。

また、収容設計の所要時間に対して、構造設計や結線ルート設計の方が時間を要している。この理由として、構造設計の方は、周辺装置関連のPCBの処理では、制御パラメータの数が多いため検索範囲が狭くなり照合の効率化に役だっている。しかし、通信回線関連のPCBの処理に関しては、通信回線の特性を一本ずつ調べる必要がありこの部分の処理に時間を要していることが挙げられる。また、結線ルート設計の処理の方は、ケーブル長の算出で表検索とその値を用いて長さの計算を行っているため、この部分の処理に時間を要していることが挙げられる。

7. あとがき

本エキスパートシステムを実用化する上で、以下のことが課題となる。

- (1) 残りの構成設計から設置設計までの知識の充実。
- (2) 設計ノウハウの定量的表現。
- (3) 知識の保守性の向上
- (4) 入出力処理部の機能、操作性の向上。

最後に、御指導頂いた当社コンピュータシステム開発本部の村上氏、小沢氏をはじめ、関係各位に厚く御礼を申し上げる。

8. 参考文献

- (1) 野田、皆本、佐藤、伊串：システム機器構成設計エキスパートシステムの試作、昭和63年度人工知能学会全国大会 6-25、1988
- (2) 皆本、佐藤、伊串：システム機器構成設計エキスパートシステムについて、情報処理学会第38回全国大会 3D-3、1989
- (3) 長沢 勲：設計エキスパートシステム、情報処理、Vol. 28、No. 2、1987