

## 設計時の仕様獲得を支援する知的インタビューシステム I<sup>2</sup>S/D

— 油圧回路の設計に関して —

川口敦生† 溝口理一郎† 角所収†

山田勉†\*\* 野村康雄†

馬場富男\* 中島裕生\*

† 大阪大学産業科学研究所

‡ 関西大学工学部

\* カヤバ工業(株)

\*\* (現在, 松下電工(株)に勤務)

あるものを設計あるいは開発しようとする場合, 仕様の決定は欠かすことのできない作業である. 仕様の決定手段の一つとして発注者へのインタビューがある. 本稿ではインタビューシステムの例題としてこの仕様獲得を取り挙げ, 検討した. タスクドメインとして油圧機器の設計における仕様獲得を用いた. まず, 油圧機器の設計者の手順, 用いる知識を検討した. 次に試作した油圧回路の仕様獲得を支援する知的インタビューシステム I<sup>2</sup>S/D の持つ知識およびその利用法について述べた. 人間の設計者はさまざまな知識を適用しながら広い視野で仕様の検討を行なう. I<sup>2</sup>S/D でもシナリオの利用の他に, 複数の設計候補を仮説として並行して検討することによりスペックダウンなどの仕様変更の示唆が可能となった.

## I<sup>2</sup>S/D : An Intelligent Interview System for Acquiring Design Specification of Oil Hydraulic Systems

Atsuo KAWAGUCHI†, Riichiro MIZOGUCHI†, Osamu KAKUSHO†,

Tutomu YAMADA†\*\*, Yasuo NOMURA†,

Tomio BABA\* and Yusei NAKASHIMA\*

† ISIR, Osaka Univ.

8-1, Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567 Japan.

‡ Faculty of Engineering, Kansai Univ.

3-3-35, Yamatecho, Suita, Osaka 564 Japan.

\* KAYABA Industry Co., Ltd.

1805-1, Asamizodai, Sagamihara, Kanagawa 228 Japan.

\*\* (Currently, Matsushita Electric Works, Ltd.)

It is necessary to make specification clear when one designs something. Interviewing is one of the techniques used for such specification acquisition. In this paper, we discuss knowledge and mechanisms of interview systems needed for acquiring specification of oil hydraulic systems. First, a human designer's behavior on the specification acquisition and his knowledge used for it are considered. Then, knowledge and its application of I<sup>2</sup>S/D are described, which is a prototype system that acquires the specification by interviewing a customer. I<sup>2</sup>S/D can propose modification of specification by evaluating several design candidates simultaneously.



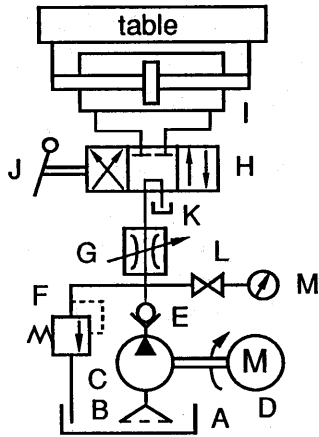


図 2: 油圧回路図の例

以下、油の流れを追いながら油圧回路図について概説する。まず、油はタンク A からモータ D に駆動されるポンプ C によって吐出される。次に、油はポンプ C への逆流を防止するためのチェックバルブ E を通り、テーブルの速度を決定するための流量制御弁 G、テーブルの方向を決める方向制御弁 H を通過する。そして、油はシリンダ I に入り出口から押し出された油はタンク A に戻る。

このような、一連の油の流れによってテーブルが動作することをこの油圧回路図が示している。その他の機器の働きを述べると、フィルタ B は油中のごみ、異物を除去する。レバー J はテーブルの方向操作を行なう。リリーフバルブ F は回路圧を一定に保つ。また、シリンダ出力を変えることもできる。圧力計 M は圧力を知る。ゲージコック L は圧力計 M の保守に使われる。

## 2.4 設計者の設計手順

設計者と発注者が行った仕様獲得、設計の対話例(2つ)を設計者の質問、決定事項といった点から検討した。設計者は一般に以下のような順序で設計を行っていると思われる。

### 1. 仕事の種類の決定

- 設計対象を特定し、その油圧システムの目的、用途を明らかにする。
- アクチュエータにモータ、シリンダのどちらを使用するか決定する。

### 2. 負荷の決定、解析、アクチュエータの構造の決定

- 負荷を決定し、解析する。
- 加速度、重量を決定する。
- 構造、機能面からアクチュエータの種類を決定する。

### 3. アクチュエータの検討

- アクチュエータに関するパラメータ  $Q$ :流量,  $V$ :速度,  $P$ :圧力,  $A$ :受圧面積を計算し決定する。

### 4. 基本回路(および主要要素機器)の選定

- 基本回路と主要要素機器の選定とサイズの決定を行なう。

### 5. 使用条件の考慮

- 設置場所、設置環境、保守条件について検討を行なう。

### 6. 回路接続

- 選定された基本回路と主要要素機器等について接続を行い、油圧回路図を完成させる。

## 2.5 設計知識

設計者が、仕様獲得、設計を行なう際に用いる知識には以下の3つがあると思われる。

1. 油圧回路の基本知識(以下、基本知識と呼ぶ)
2. 油圧回路の設計事例に関する知識(以下、事例知識と呼ぶ)
3. 油圧回路の設計ノウハウ

油圧回路の基本知識は油圧回路に関する一般的な知識や深い知識のことである。事例知識は経験を通じて蓄積される特定の事例に関する専門知識である。設計ノウハウは同じく特殊化された基本知識と考えられる。油圧回路設計の初心者は、3つの知識について相対的に知識量が少なく事例知識、設計ノウハウをほとんど持たない。しかし、設計経験を積み重ねることによって事例知識、設計ノウハウが豊富になっていく。

油圧回路の基本知識については、先に述べた設計者手順から以下に示す6種類の知識にさらに分類することができる。

1. 仕事の種類の知識
2. 負荷の知識、アクチュエータの構造に関する知識
3. アクチュエータの知識
4. 基本回路および主要要素機器の知識
5. 使用条件に関する知識
6. 回路接続の知識

## 2.6 仕様獲得作業の困難な点

油圧機器設計の仕様獲得に際して、設計者が遭遇する困難は以下の通りである。

1. 機能、利用法の面でのみ仕様が提示される

発注者は、設計対象である油圧システム内部の機構、限界といったことについてあまり知らないため機能、利用法といった面からの要求しか提示することができない。すなわち、仕様と設計すべき回路との隔たりが大きい。

## 2. コストの意識が低い

特に、油圧機器発注の経験が少ない発注者は、コスト的に実現不可能な要求を行なうことが多い。仕様獲得に際しては、コスト面からの検討を常に行い、スペックダウンの提案などを行なう必要がある。

## 3. 安全性に関する言及は少ない

要求性能を満たすための検討だけではなく、安全面の検討なども含めた総合的視野が設計者に要求される。

## 4. 現状の技術では実現できない要求が含まれていることがある

設計者は用いようとする部品、回路の性能限界を意識し続ける必要がある。また、技術革新によって性能限界そのものが変化していくため、日頃から最新の技術動向に注意せねばならない。

以上のように、仕様獲得に当たっては、広い視野で、性能、コスト、安全性などをバランスよく検討していく必要がある。またそのために多くの知識を動員して発注者と対話をしていかなければならない。

# 3 I<sup>2</sup>S/D

## 3.1 タスク

I<sup>2</sup>S/D のタスクは、発注者（ユーザ）にインタビューを実施し、開発する油圧機器の仕様を獲得することである。具体的には、対象機器の設計を実際に行いながら以下のようなことを行なう。

- 重要な油圧パラメータ名の提示とその値の獲得
- 標準品の使用を考慮したパラメータ値の決定
- 複数の回路候補とそれらの長所、短所の提示
- コスト、安全面からの仕様変更の提案

ユーザとしては、計算機システムの操作に不慣れでかつ油圧回路の発注についてあまり経験を持たない者を想定している。出力は、目的とする油圧機器の仕様書および油圧回路図である。

ユーザの負担を出来るだけ少なくするために、入力以下に示す3種類に限定した。

1. 質問に対して、単語を入力する。
2. 質問に対して、「はい」、「いいえ」で答える。
3. 提示された項目に対して、該当する番号あるいは記号をマウスを用いて選択する。

システムは質問あるいは意見の提示によって、ユーザを刺激する。システムと対話を続けることによって発注者自身も仕様を詳細化し、整理することができる。

## 3.2 基本設計

インタビューシステムでは、どのような知識をあらかじめシステムに持たせ、何を持たせないか（学習させる）かが重要である。本システムでは、先に検討した設計者が用いる3種類の知識の内、基本知識のみを用いて仕様獲得を行なうこととした。残りの知識の内、事例知識はその量、種類とも多く事前の整理が困難なので、インタビューを通じて学習すべき知識と考えている。また設計ノウハウについてはまだ十分な検討を行っていない。

油圧機器の設計の場合、設計者の手順が比較的明確なので、インタビューはシナリオを中心に行なえる。本システムでは、設計者の用いる知識を図3のように順序づけて、上から順に参照しながらインタビューを実施することを基本としている。インタビュー中にわかる注意すべき仕様項目は、attention として検出し、ルールで処理している [2]。また複数の候補を同時に検討すべき基本回路の選択では、各候補を仮説とする仮説型推論を行ないながらインタビューを実施する。

## 3.3 基本知識とその利用法

先に述べたように本システムは図3に示す知識を上から順に参照しながら仕様獲得、設計を進めていく。以下順に各知識およびその利用法について述べていく。ただし、回路接続の知識については現在のところインタビューに直接関係していないので本稿では省略する。

### 3.3.1 仕事の種類の知識

仕事の種類の知識は、運動面から見た仕事の種類に関することである。この知識は、使用するアクチュエータを決定することを目的として利用され、シナリオおよびアクチュエータ決定ルールから構成される。

以下に、この知識を用いて行なわれるシステムとユーザの対話例を示す。

[system] 設計する油圧システムは何ですか。

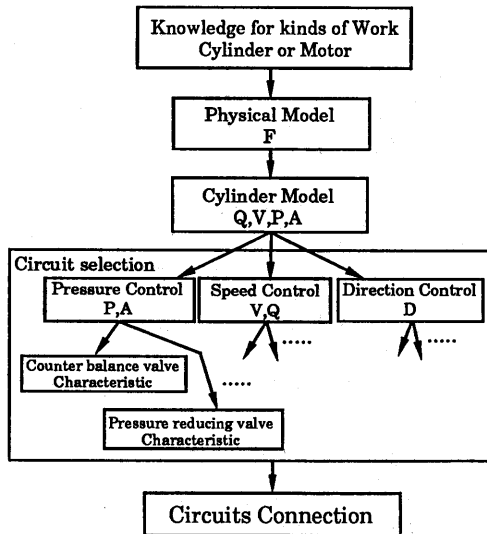
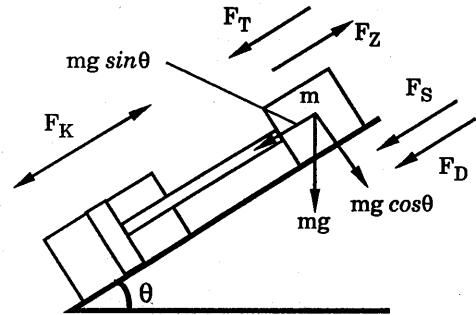


図 3: 基本知識の関係



$$F_K = m\alpha$$

$$F_S = 0$$

$$F_D = \mu_2 mg \cos \theta$$

$$F_T > 0$$

$$F_Z > 0$$

$$F_{UP} = m\alpha + \mu_2 mg \cos \theta + mg \sin \theta + F_T + F_Z$$

図 4: 片側ロッド式シリンダの物理モデル (上昇時)

[customer] 工作機械の平削盤です。

[system] 仕事の目的は何ですか。

[customer] 仕事の目的はプレーナベッド駆動です。

[system] 仕事の種類は直線ですか、回転ですか。

[customer] 直線です。

[system] アクチュエータにシリンダを使用します。

(アクチュエータ決定ルールが適用された)

### 3.3.2 負荷の知識

負荷の知識は、アクチュエータにかかる負荷に関する知識である。この知識は、アクチュエータ(シリンダ、モータ)にかかる負荷を決定、解析しその方向、大きさについての仕様を獲得することを目的として利用される。

シリンダにかかる負荷には以下の5つがある。

#### 1. 慣性負荷: $F_K$

これは、作動物体をある速度に加速(減速)するときの負荷である。

#### 2. 抵抗性負荷: $F_T$

これは、摩擦抵抗を除いたシリンダの運動方向に反するような負荷である。

#### 3. 自走性負荷: $F_Z$

これは、シリンダの運動方向に一致する負荷である。

#### 4. 動摩擦抵抗: $F_D$

作動物体の運動中に生じる摺動面上の負荷である。

#### 5. 静摩擦抵抗: $F_S$

作動物体の運動開始時に生じる摺動面上の負荷である。

これら5つの負荷は物理モデルとして表現され、参照される。図4に片側ロッド式シリンダの物理モデルを示す。インタビューに際しては、シナリオを利用して各パラメータの値を聞いていく。また簡単な数式処理を行なって各パラメータの相互作用を推論し、負荷の変動要因となるパラメータに対する注意を発注者に促す。

以下に、この知識を用いて行なわれるインタビューの例を示す。

[system] シリンダが操作する対象は1つですか。

[customer] はい、1つです。

[system] 片側ロッド式シリンダを使用します。

[system] 片側ロッド式シリンダの物理モデルを表示します。

[system]  $\theta$ の値を教えてください。

[customer]  $0^\circ$ です。

[system] 片側ロッド式シリンダの物理モデル( $\theta = 0^\circ$ )を表示します。

[system] 図中の5つの考えられる負荷のなかで実際に考慮する負荷を教えてください。

[customer] 左進時の抵抗性負荷, 運動時の動摩擦抵抗, 静止時の静摩擦抵抗です。  
 [system] 負荷はこのように表せます。

$$F_{LEFT} = \mu_2 mg + F_T$$

$$F_{RIGHT} = \mu_2 mg$$

$$F_{REST} = -\mu_1 mg$$

[system]  $mg$  を変動させる要因がありますか。

( $mg$  の変動は, 負荷の変動につながるが上の式より導かれる)

[customer] はい, 左進時の抵抗性負荷です。

[system] 左進時の抵抗性負荷は変動しますか。

[customer] はい。

[system] 抵抗性負荷の変動に対して, 速度を一定に保つ必要がありますか。

[customer] はい。

[system] モデルの図中で表されていない負荷はありますか。

[customer] いいえ, ありません。

[system] モデルの図の中で既知の値を教えてください。

[customer]  $F_T = 3\text{ton}$  (左進時),  $m = 450\text{kg}$ , 摩擦係数  $\mu_1 < 0.2$ ,  $\mu_2 < 0.2$  です。

(未知の値についてはデフォルト値を用いる)

[system] 直線運動の往復運動は直接油圧で行いたいですか。

[customer] はい。

[system] アクチュエータに複動片側ロッド式シリンダを使用します。

### 3.3.3 アクチュエータの知識

アクチュエータには, シリンダとモータがあるが, 本稿ではシリンダに関する知識について述べる。シリンダの知識として, シリンダのもつ各パラメータ  $Q$ : 流量,  $V$ : 速度,  $P$ : 圧力,  $A$ : 受圧面積をシリンダモデルとして表現している。インタビュー時の利用法は, 負荷の知識と同様である。図5に複動片側ロッド式シリンダのシリンダモデルを示す。

以下に, この知識を用いて行なわれるシステムとユーザの対話例を示す。

[system] 複動片側ロッド式シリンダのシリンダモデルを表示します。

[system]  $V_H, V_R$  の大きさ, 状態を教えてください。

[customer]  $V_R$  は  $6 \sim 23\text{m/min}$  の範囲で調整可能としたい。  $V_H$  は  $50\text{m/min}$  で一定でよい。

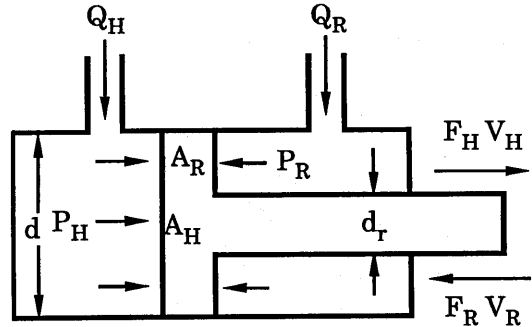


図5: 複動片側ロッドシリンダのシリンダモデル

[system] 負荷の大きさについて検討します。

[system] シリンダモデルの図中で既知の値を教えてください。

[customer]  $P_R \leq 70\text{kg/cm}^2$  としたい。

### 3.3.4 基本回路の知識

この知識は, 各基本回路の特性導出および要求仕様を満たす基本回路の選定に使用される。

基本回路の知識から導出される基本回路の特性は, 以下のように整理できる。

#### 1. 本質効果

回路の採用が機器にもたらす油圧パラメータ上の効果

#### 2. 補足効果

回路の採用が機器にもたらす油圧パラメータ上以外の効果

#### 3. 性能限界

#### 4. 外乱パラメータの影響

外乱パラメータの変動が本質効果におよぼす影響

#### 5. コスト

#### 6. 接続

回路全体への接続のされ方

#### 7. 効率

#### 8. 精度

#### 9. 安全性

基本回路の知識は各回路ごとにこれらの特性を記述したものである。ただし, 本質効果, 外乱パラメータの影響については, インタビュー時に定性的推論を用いて検討するパラメータに関する特性を動的に導出している。

## Meter-In Circuit

Essential function	$Q_{cy}$ : controllable
	$P_{cyout} = 0$
	$Q_{val}$ : constant
Auxiliary function	pressure compensation
Performance limit	$Q_{max} = 200(l/min)$
	$P_{max} = 175(kg/cm^2)$
Objective parameter	$V_{con}$
disturbed parameter	$F$

$$\begin{array}{l}
 Q_{cy} : \text{controllable} \\
 \downarrow \\
 Q_{cy} = AV \\
 \downarrow \\
 V : \text{controllable}
 \end{array}$$

図 6: 基本回路の知識と特性導出の過程

図 6に、基本回路の知識と特性導出の推論過程の例を示す。

インタビューに際しては、まず各基本回路の特性とすでにわかっている要求仕様とを照合し、満足しない回路を削除する、この時、発注者が言及しなかった特性についてはインタビューを行なう。次にトレードオフの関係にある特性についてはどちらを重視するかインタビューを行なう。また特性として性能限界が記述された候補回路については、要求仕様を満足するか定量的に判断する。この際必要に応じてパラメータの値を質問する。

内部的には、各候補回路を仮説として並行して評価しながら、質問生成を行なっている。要求仕様を一部満足できない候補でもコスト等があるしきい値内にある時は有効な仮説として扱うことにより、スペックダウン等の仕様変更の示唆を可能としている。

基本回路選定時に行われるシステムとユーザの対話例を以下に示す。

- [system] 速度: $V_R$ の可変を検討します。
- [system] 流量制御回路が必要になります。
- [system] 抵抗性負荷が負の状態になることがありますか。
- (メータイン、メータアウト回路を区別するための質問)
- [customer] いいえ。
- [system] メータイン回路を採用します。
- (チェックバルブの採用も同時に決定する。)
- [system] 速度: $V_H$ の速度一定を検討します。

[system] 抵抗性負荷がなく速度は $V_R$ より大きく一定なので $V_H$ の早戻りを検討します。

[system] 早戻りには差動回路,HI-LO 回路が候補に挙げられます。

(差動回路は性能限界スロット( $A_H/A_R : V_H/V_R$ )をもち定量判断により、要求仕様を満たさないことがわかっている。)

[system] HI-LO 回路を採用します。しかし、差動回路を用いれば $V_H$ の大きさは $V_R$ の約 1.5 倍までしか出せないが HI-LO 回路に比べてコストが安くなります。速度 $V_H$ の仕様を変更し差動回路を採用しますか。

[customer] いいえ。

[system] 速度制御に関して、可変、早戻りの他に減速、ショック防止などその他考慮すべきことはないですか。

[customer] 方向切替時にショックを防止したい。

(ショック防止と減速を等価に考える。)

[system] 両行程時において、ショック防止と減速( $V_{out}$ :decrease)を行なう回路を検討します。

[system] ショック防止、減速には背圧回路(カウンタバランスバルブ)、オープンセンタ、タリー弁、etc が候補に挙げられます。

(オープンセンタはアンロード機能をもつ。そこで、アンロードを必要とするかどうかのインタビューを次に行なう。)

[system] 背圧回路を採用します。

[system] 仕事をしない時もポンプを作動させていいのですか。

(圧力制御回路の選定に入っている)

[customer] はい。

[system] ポンプのアンロードのためと方向切替時のショック防止のためにオープンセンタを採用します。

[system] 圧力制御に関しては、圧力設定を行なうだけでいいですか。

[customer] はい。

[system] リリーフバルブを採用します。

[system] プレーナベッドの起動、停止はどうしますか。

(運転操作回路の選定に入っている)

[customer] スイッチによる on,off 操作にした

[system] 往復運動の切替は手動, 自動がありますがどうしますか.

[customer] 自動にしてください.

[system] 方向制御には, 油圧制御, ソレノイド制御, 空気圧制御などがありますが...

[customer] ソレノイド制御にしてください.

[system] 電磁操作弁(ソレノイドバルブ)を使用します.

(ソレノイドバルブは限界スロット( $Q_v: 40 \sim 80l/min$ )をもち定量半断により, 許容通過流量を越えていることがわかっている.)

[system] ソレノイドバルブに油圧パイロットを付加して使用します.

## 4 学習機能の検討

2節で述べたように人間の設計者は, 油圧回路の基本知識, 事例知識, 設計ノウハウの3種類の知識を用いて仕様獲得, 設計を進める. 特に過去の類似事例に関する知識を用いることにより冗長な質問を回避したり, 質問内容を簡単にしたり, 発注者が気づいていない仕様を示唆している. また, 設計が困難であったなどの特殊な事例を覚えておいて, 後の設計に備えている.

$I^2S/D$  は油圧機器の基本知識だけを使って設計を行いながら発注者と仕様を詰めていく. そのため, 同じ油圧機器を設計するときでもまったく同様のインタビューを行なう. このように人間の設計者と  $I^2S/D$  の相違点は, 過去の設計経験に基づいた事例知識を蓄積して持っているかないかという点である<sup>1</sup>. 個々の油圧回路の設計時に獲得した事例知識を蓄積するための学習機構を付加することにより,  $I^2S/D$  は以後の設計において類似する過去の事例知識を参照でき, より知的な仕様獲得, 設計が可能になる.

事例知識の学習法として, 以下の3種類を検討している [3].

### 1. クラス分け

油圧機器, 負荷特性, アクチュエータ, 制御方式等に注目してついてクラス分けを行なう.

### 2. 一般化

過去に獲得した事例の中から共通する仕様を持つ事例の組を探しだし, それらをその共通する仕様で一般化する.

### 3. リンク

<sup>1</sup>もちろん人間は事例知識のほかにも多くの知識, 設計法といったスキルを学習できる.

仕様とそれを満たすための基本回路, 要素機器をリンクする.

以上に述べた学習方法によってインタビュー時に類似事例を見いだし, 冗長な質問を回避したり, 質問を簡単にして発注者の負担を軽減することが可能になる. また発注者が気づいていない仕様を示唆することもできる. 例えば平面研削盤の事例が3つ集まり,  $\mu$  の値や切削抵抗の有無によって一般化できたならば, これ以後の平面研削盤の設計においてシステムは, 「 $\leq 0.2$  としてよろしいですか」, 「切削抵抗はありますか」と尋ねることができる.

## 5 おわりに

以上, 油圧回路設計時の仕様獲得を支援する知的インタビューシステム  $I^2S/D$  について述べた. 本稿では触れなかったが, 仕様獲得については自動プログラミングシステム PSI(CHI) で主導権混在型対話を通してプログラムの仕様を獲得する試みがなされている [4]. 今後はこれらとの比較検討も行ないながら, さらにシステムの充実を図って行く予定である. なお本システムは, Symbolics 3620 上に ART を用いて実装されている.

## 参考文献

- [1] 不二越油圧研究グループ, “知りたい油圧 基礎編, 実際編” ジャパンマシニスト社, 1986.
- [2] 川口他, “インタビュー形式でユーザーと対話するデータベース論理設計支援システム”, 信学論 (D), J70-D, 11, 1987.
- [3] 和田他, “知的インタビューシステム  $I^2S$  における学習機能について”, 知識工学と人工知能 56-13, 1988.
- [4] Green, C. and Barston, D., “A hypothetical dialogue exhibiting a knowledge base for a program understanding system”, Machine Intelligence, 8, Halsted Press, 1977.