

シーケンス制御用ソフトウェアの設計支援について

月本 洋

(株) 東芝 システムソフトウェア技術研究所

本論文はシーケンス制御用ソフトウェアの設計支援の一手法についてのべる。シーケンス制御用ソフトウェアの設計過程は制御対象である機械やプラントの情報を使って仕様を詳細化する過程と見なせる。その過程は3段階に分けられる。最初のステップは制御対象の情報無しに仕様を理解することであり、次のステップは制御対象内の具体的な物質の動きをともなった形で理解することであり、最後のステップは制御対象内の具体的な操作機器の動きをともなった形で理解することである。動詞の格フレームを表現の中心に据え、この格フレームの情報を満たして行く過程として設計過程を定式化する。

A method for design assistance in sequence control software

Tsukimoto Hiroshi

Systems & Software Engineering Laboratory

Toshiba Corporation

This report describes a method for design assistance in sequence control software. Process of designing sequence control software can be regarded as the process in which specifications are detailed using the information of control object (machine, plant etc.) The process is divided into three stages. First one is to understand the specification without the information of control object. Second one is to understand how materials move in the machine. Last one is to understand how actuators are manipulated. Case frames of verbs are used to represent the semantics of the specification and they are modified step by step in the designing process.

1. はじめに

筆者はシーケンス制御用ソフトウェアの設計に関して、システム論的な考察を行ってきた。¹⁾

2) これによりモデルマッチング的な設計法が自動設計法として有効であることを示したが、知識に関する問題を将来の課題として残してきた。本論文ではその知識に関する問題についての考察を中心に述べる。その問題は一言で言えば、人間が自然言語で記述する不完全な概略仕様をどのようにして上記のモデルマッチング的の設計法で扱える程度の記述まで詳細化するかということである。ここでは、シーケンス制御用ソフトウェアが制御に関するものであり、その制御対象は既に所与であると言う事実に注目する。この事実に基づき設計過程を制御対象の情報による概略仕様の詳細化と捉え、概念理解、設備理解、手順理解の3段階に分け、各過程を仕様記述の中心的役割を果たす動詞のフレームに対する操作として定式化した。以上の話より分かる通り、ここでは設計の上流工程を議論の対象とする。

2. シーケンス制御用ソフトウェアの設計過程のモデル

計算機で設計支援をするには設計過程のモデルを計算機が持たねばならない。ここではシーケンス制御用ソフトウェアの設計過程のモデリングを行なう。簡単な例として、「風呂を沸かす」を考えてみる。これを人間が理解するには次の3ステップを処理する必要があると思われる。

a) 「風呂」、「沸かす」と言う言葉を理解する (概念理解)

即ち具体的な対象に依存しない形でその意味を理解する。もしくは過去の経験に基づいて或対象を想像する。

b) 具体的対象の物質の動きを伴った形で理解する。(設備理解)

水を入れる(水道に入れるとか、どこかから汲んでくる 等)
沸かす(ガス炊き、薪等)

c) 具体的対象の操作機器等の動きをともなった形で理解する。(手順理解)

水道の蛇口をひねる
水道の蛇口を閉める
ガス栓を開ける
マッチで火をつける
ガス栓を閉める
...

以降、このようなモデルに従って仕様の詳細化の過程を考察して行くのだが、その前に仕様を記述する際を中心になる動詞について簡単な分析を行なう。

3. 動詞に関する考察

文の構造を扱う際に、動詞を中心に見て行くことは自然言語処理でよく行なわれている。³⁾ また実際に制御仕様を記述するときの鍵となる言葉は動詞である。従って、まず実際の制御の分野で使われている日本語について簡単な分析をする。

3. 1 動詞の拾いだし

実際の仕様書から動作に関する言葉を拾い出すと次のようになる。

動詞 重合、空送、仕込、洗浄、動き 切替、供給、運転、受け入れ、反応、予約、書換え、
水洗、加圧 シール、管理、抜出、張込、処理、生産、攪拌、実施、停止、固定、開、閉、

起動、ON、OFF、UP、DOWN、回転、切り替え、消す、リセット、再開、流す、入れる、行なう、冷却、待つ、ページ、脱圧、切る、燃焼、加熱、上昇、下降、溶解、挿入、吹き込む、送る、前進、後退、乾燥、解放、遮断、固める、吸引する、遮蔽、混ぜる、混合する、運搬、置換、測定、精練、傾ける、出す、止める、始める、開始、振動、抜く、送風、蓄熱、押す、引っ張る、曲げる、伸ばす、圧縮、変換、沸騰、運ぶ、落とす、巻取る、酸洗、漬ける、出す、

副詞 順次、連続的に、個別に、

3. 2 動詞の分類

次に動詞を分類するのだが、分類方法としてはその動詞が移動（物理）に関するものか、反応（化学）に関するものか、もしくはその他かで分類し、またその動詞の目的語が生産対象（設備）か、操作機器かで分類する。この分類法で上の動詞のいくつかを分類すると次のようになる。

動詞	生産対象（含装置）	操作機器
移動（物理）		
空送	+	
仕込	+	
動かす	+	+
切替	+	+
供給	+	
運転	+	+
受入	+	
水洗	+	
シール	+	
拔出	+	
張込	+	
処理	+	
攪拌	+	
停止	+	+
固定	+	
開閉		+
ON, OFF		+
起動		+
up, down	+	+
回転	+	+
流す	+	
入れる	+	
ページ	+	
切る		+
反応（化学）		
重合	+	
洗浄	+	

反応	+
水洗	+
加圧	+
処理	+
消す	+
冷却	+

その他

予約、再開、書換え、管理、生産、実施、リセット

3. 3 動詞の基本動詞による表現

ここでは移動（物理）の動詞について検討する。

a) 生産対象（装置）を目的語とする動詞

以下に数例示す

空送＝何かを（対象）＋送る＋空気で（手段）

水洗＝水を（対象）＋流す＋洗う（目標）

シール＝何かを（対象）＋流す＋封じる（目標）

攪拌＝何かを（対象）＋回す＋混ぜる（目標）

ページ＝何かを（対象）＋流す＋追い出す（目標）

この様に生産対象（装置）を目的語とする動詞はいくつかの基本的な動詞に還元できる。上の例で言えば以下の通りである。

空送	→	送る
水洗	→	流す
シール	→	流す
攪拌	→	回す
ページ	→	流す

また、入れる、仕込む、供給、張り込む等は基本的には同じ意味の動詞と考えられる。従って生産対象（設備）を目的語とする動詞は少数の基本的な動詞で表現できることが分かる。

b) 操作機器を目的語とする動詞

操作機器を目的語とする動詞は操作機器が基本的にモータ（もしくはモータ応用機器）とバルブ（電動弁も含めて）に分類されるため次のようになる。

モータに関する動詞

動かす	止める
起動	停止
運転	切る
ON	OFF

上に挙げた動詞はほぼ同じ意味であり、基本的には一対の動詞と考えられる。バルブに関する動詞は以下の通りである。

開	閉
切替	

これより分かる通り、操作機器を目的語とする動詞は二三の動詞で表現できる。

3. 4 格フレームによる動詞の情報の表現

移動に関する動詞の情報は以下の格フレームによって表現される。⁴⁾

対象格	何を
道具格	何で
源泉格	どこから
目的格	どこへ
目標格	何のために

例 出す (情報が確定した場合)

対象格	液体
道具格	バルブ
源泉格	タンク A
目的地格	タンク B
目標格	

しかし初期状態はこの格フレームが満たされていない。このフレームが満たされて行く様子を先ほどの風呂の例でみる。「風呂を沸かす」を分解すると「水を入れる」+「水を熱くする」となるが、「水を入れる」を格フレームで書くと以下ようになる。

対象格	水
道具格	
源泉格	
目的格	風呂
目標格	

ここまででは常識として持てるであろう。具体的な風呂の構造を与えられると道具格に例えばバルブ A とかが入れられる。この様に格フレームを満たして行く過程を仕様ぎめ、設計の上流工程と見なせる。

4. 仕様の詳細化

2章でみたように仕様の詳細化は以下の3ステップに分解される。

概念理解——即ち具体的な対象に依存しない形でその意味を理解する。または過去の経験や常識等に基づいて或対象を想像する。

設備理解——想像したものを具体的対象の情報で修正し、その対象の物質の動きを理解する。

手順理解——その動きを引き起こす為の操作機器等の動きを理解する。

この過程を動詞の基本動詞への還元とその基本動詞の格フレームを満たして行く過程として見る事ができる事を以下に示す。ただし、手動操作、表示、等のMMIと異常処理に関しては本稿では述べない。

4. 1 概念理解

この過程は常識や領域知識を使って可能な範囲で所与の動詞を基本動詞の組合せに変換してその基本動詞の格フレームを具体的な設備に関する情報を使わずに常識と領域知識だけで埋めて行く作業になる。前の例の「風呂を沸かす」で言えば「風呂を沸かす」を「水を入れる」と「水を

熱くする」と言う基本動詞の組合せに分解して、各々の格フレームを常識を使って満たして行くことである。「水を入れる」は移動に関する動詞なので今までの議論に従って作業ができる。常識等で入れられるのは対象格の「水」と目的格の「風呂」ぐらいであろう。

対象格	水
道具格	
源泉格	
目的格	風呂
目標格	

しかし「熱くする」の方は反応に関する動詞なので少し複雑になる。「熱くする」は例えば「ガスを流す」（移動に関する動詞）＋「点火する」（反応に関する動詞）と変換できる。だがこの変換は常識や領域知識だけではできず、具体的な風呂の構造に関する情報を必要とする。ガス炊きでなかったならこの変換は間違いである。この作業は設備理解や手順理解のステップで行なわれるものである。この様に所与の動詞を基本動詞の組合せに変換し基本動詞の格フレームが不完全ながらも満たされた段階で、この解釈を自然言語の文もしくはなんらかのSFC（SFCに関しては参考文献5）を参照）にして提示するのは間違った解釈を防ぐ上で必要なことである。例えば、「風呂を沸かす」と言う文で風呂に湯を直接入れることを意味することもあり、その場合には「風呂を沸かす」を「水を入れる」＋「水を熱くする」と変換することは間違っていることになり、この間違いを仕様提示者から指摘し修正してもらう必要がある。したがって仕様提示者に解釈した意味を提示するだけでなく、その場で修正された自然言語もしくはSFCで記述された仕様の意味の解釈を行なわねばならない事になる。

4. 2 設備理解

この過程は常識等で部分的に満たされたフレームを具体的対象の物質の動きに関する情報を用いて可能な範囲で残りのフレームを満たして行く作業と見なせる。「風呂を沸かす」の例で言えば前節で見たように「水を熱くする」と言う反応に関する動詞を例えばガス炊きの風呂の構造に関する情報で「ガスを流す」（移動に関する動詞）＋「点火する」（反応に関する動詞）と変換する事である。この制御対象である機械の物質の動きに関する情報は基本的には機械図面から必要な情報を抽出して作成される。計装の分野で言えば、これはP&I、プロセスフローと呼ばれているものである。今後これを設備情報と呼ぶ。格フレームについては、「水をいれる」の格フレームの追加は特になく、「水を熱くする」は「ガスを流す」と「点火する」に分解され、そのフレームは以下の通りとなる。

「ガスを流す」		「点火する」	
対象格	ガス	対象格	ガス
道具格		道具格	
源泉格		源泉格	
目的格	風呂	目的格	
目標格		目標格	

又「風呂を沸かす」→「水を入れる」＋「ガスを流す」＋「点火する」と変換されたことになる。なお、この段階でも仕様提示者による修正は必要である。

4. 3 手順理解

この過程ではいままで求めてきた生産対象（設備）に関する動詞の格フレームを操作機器に関

する動詞の格フレームに変換する。例えば「水を入れる」について言えば、「バルブAを開にする」に変換することになる。これを格フレームで表現すれば、設備情報を用いて「水を入れる」の道具格に例えばバルブAを入れる事になり、更にこの道具格のバルブAを手がかりにしてこの格フレームを「バルブAを開にする」の格フレームに変換する事になる。

「水を入れる」			「バルブAを開にする」	
対象格	水		対象格	バルブA
道具格	バルブA		道具格	空気
源泉格		→	源泉格	
目的格	風呂		目的格	
目標格			目標格	水

基本的な作業は以上の通りなのだが、これだけでは不十分である。なぜなら水を入れると言う行為は風呂に水を貯めることを意味しているから、栓を閉めるとかの行為や、水の圧力が立っているかとかのチェックが必要である。ここではチェックの方は省略し、行為の方のみ考えることにする。従って、「水を入れる」は「栓を閉める」+「バルブAを開にする」に変換されねばならない。しかしこれでも不十分である。これでは水を出しっぱなしにしてしまう事になる。よって、「水を入れる」は「栓を閉める」+「バルブAを開にする」+「バルブAを閉にする」になる。ここでバルブAを閉にする時点が問題になるがここでは省略する。また各々の操作に対してその確認を取って進むものとする。この場合には栓が閉まった等を目で確認して進むことを意味するが、実際のプラントの場合にはリミットスイッチ等の信号で確認することになる。これでほぼ問題ないと思われるが実用を考えると水を入れる対象である容器に接続されている他の配管のバルブは閉まっていなければならない。したがって「他のバルブを閉にする」を更につけ加える必要がある。この様な変換を可能にするには、「入れる」と言う物質の動きに対して「容器に接続されている対象外の流体の配管の操作端をすべて閉にして、対象流体の配管の操作端をある時間開にしておく。」と言う知識が必要になる。従って、この段階の作業を行なうには、設備情報以外にこのような変換知識が必要なことになる。「容器に接続されている対象外の流体の配管の操作端をすべて閉にする」と言う知識から派生する具体的仕様（バルブBを閉めておく等）は通常省かれ、注目している箇所のみ記述されるが具体的操作手順を決める段階では考慮されねばならない。上記の推論は一種の常識推論と言える。また「対象流体の配管の操作端をある時間開にしておく」も「一度開けたバルブはどこかで閉める」と言うような知識であるとも言える。この様な常識を用いた推論が有効である事が以上の簡単な議論から分かったが、この推論をするかどうか設計の質をかなり変えられ、高品質な設計支援をするにはこの様な常識推論は必須であると考えられる。尚、実際の設計において設計者がしばしば間違える箇所の一つはこの変換である。またこの段階でも仕様提示者によるチェックは必要だと思うが、むしろ修正によって改悪される可能性もある。

4. 4 仕様の完全化

前章の作業で以下のような操作手順が得られたとしよう。

「栓を閉める」+「バルブAを開にする」+「バルブAを閉にする」+「ガス栓を開ける」+「点火する」+「ガス栓を閉める」

確かにこれで「風呂を沸かす」を実行したことになる。我々の日常生活ではこれで十分であろう。自動風呂沸かし機等の家庭用の機械としても十分であろう。しかし製造業の機械としては不

十分である。日常生活では一回切りの作業を行えば良いのに対し通常、製造業では繰り返して同じ作業を行なうからである。一つの機械（プラント）を一度だけしか使わないことはないのであり、製造業用の機械は繰り返し作業を前提にして作られるのである。この視点から、「風呂を沸かす」と言う行為を考えてみよう。即ち次に「風呂を沸かす」場合を考えてみると、今回と次回の間で使用後の水を抜くと言う動作が必要になってくる事が分かる。即ち水抜きは自動的にやるのか？やるとすればいつやるのか？時間で判断して良いのか？これに対しては回帰性を最初から仮定しておくことによって基本的には解決できると思われる。即ち回帰性より水抜きに関する質問を仕様提示者に問いかけることができる。これも一種の常識推論である。更に次のような疑問もでてくる。

- ・入浴中に水の温度が下がったときはどうするか？
- ・入浴中に水の量が減ったときはどうするか？
- ・これらを自動的にやるとするならば、入浴中の判断をどの様に行なうか？

この様な疑問に対する解答は一つではなく、使用者によって解答は異なる。またこれらは異常状態ではなく正常状態で有り得る事である。従って仕様を完全なものにする過程でこれらの問題を解決しなければいけないのである。この解決方法として現状の所は、できあがった手順（プログラム）の具体的な動作をシミュレーション等の手法で仕様提示者に示して確認を取るぐらいであろう。

5. おわりに

本論文では、シーケンス制御用ソフトウェアの設計過程（特に上流工程）を概略仕様の設計対象の情報による段階的詳細化としてモデル化し、動詞の格フレームをその表現の中心に置き、その格フレームの情報を書き込むと言う操作を中心に設計過程を議論した。今後は実装を目指して研究を行ないたい。

参考文献

- 1) 月本 : シーケンス制御系の代数的表現、第1回離散事象システム研究会、計測自動制御学会、59/62、1988
- 2) 月本 : シーケンス制御系の設計=モデルマッチング+知識、第16回システムシンポジウム、計測自動制御学会、7/12、1990
- 3) 水谷他；文法と意味 I、朝倉書店、1983
- 4) 飯村他：先進型上流工程支援ツールVIP、ソフトウェア工学研究会、69-4、情報処理学会、1/8、1989
- 5) 電気学会（編）：シーケンス制御工学、オーム社、1988