

建築設備自動制御のソフトウェアへの問題フレーム適用について

井口日文 中谷多哉子
放送大学教養学部教養学科情報コース
1520810114@campus.ouj.ac.jp

要旨

近年、建築物の冷房用冷熱源設備の自動制御設備（以下、自動制御設備）で利用が増えている *Programmable Logic Controller* (以下、*PLC*) のソフトウェアを開発する際、ソフトウェアの機能を記述する手法は、建築設備設計者に任されている。従来、案件ごとの制御の内容が大きく違わなかったことや、ソフトウェアの定義が必要ない制御で済んでいたため、ソフトウェアの機能定義の要領が確立されておらず、機能の記述をコメントで済ませる設計者も多い。その結果、*PLC* ソフトウェアのテストや改修の際、ソフトウェアに建築設備設計者の設計意図が反映されていることを確認することが困難になっている。自動制御設備に期待される機能は高度化、多様化しており、ソフトウェアの機能が複雑になってきている。ソフトウェアの機能を分析し、定義をする手法が必要であると考えられる。

本研究では、*PLC* の機能を構造化する手順として、問題フレーム (*Problem Frame*) を導入することで、ソフトウェア機能記述の構造化を試みた。また、作成した問題フレームが建築設備の実務者に理解されるものであることをインタビューで確認した。

1. はじめに

近年、自動制御設備に *PLC* が導入されるようになってきている。*PLC* の機能はソフトウェアで実装されており、その機能を定義するためには、ソフトウェア設計図書を作成する必要がある。しかし、ソフトウェアの設計を専門とする技術者が設計図書を作成するのではなく、建築設備

の専門家がその責を担っている。そのため、ソフトウェアの機能を定義するにあたり、ハードウェアの機能と区別することができず、コメント、箇条書きと若干の図表でソフトウェアの振る舞いを記述する方法がとられている。従って、

- 機能の記述が体系的でなく、複雑な制御になった場合、解釈の多義性や矛盾が生じる
- 設計図書の読み手によって、理解の内容が異なり、設計図書の機能を果たさない
- ソフトウェアの開発と検証作業を再現可能なプロセスとして定義できない。
- ZEB (Zero Energy Building) など、エネルギーを効率的に利用するための要求が高度化する一方、十分な仕様記述ができない

などの課題が生じている。

問題フレームは、ソフトウェアが使われる環境の問題とその問題を構成するドメインを定義し、現実世界とドメインの構造と特徴を明らかにする枠組み (フレーム) である [1]。現実世界とドメインの関係を構造化することで、マシンとドメインとの間の関係を関心事として明記してマシンの要求仕様を定義する。

複雑な問題の場合は、段階的詳細化という作業を経て、粒度の小さい問題を発見し、本稿では、問題フレームを自動制御設備の要求仕様を定義するために適用する。

建築設備エンジニアが直観的に対応している現在の状況を解決するためには、分析プロセスを変え、思考の成果を表記するという二つの変革を遂行していかなければならない。我々の課題は、問題フレームによる表記が、建築

設備エンジニアに理解されるか否かを評価することである。本稿では、自動制御設備の仕様の記述に問題フレームを導入し、建築設備エンジニアがこの技術を導入するときの効果と課題を明らかにする。

本稿では、これらの問題を解決するために、建築設備の専門家が、現実世界とソフトウェアとの境界に着目してソフトウェアの要求仕様を定義することを試行した。この手段として要求工学で開発された、問題フレームを適用する。

本稿は、以下のように構成されている。次の2節では本研究の関連研究を紹介し、3節で問題フレームを用いた要求仕様の定義と建築設備技術者へのインタビュー結果を示す。続く4節で考察を述べ最後の5節で本稿をまとめる。

2 関連研究

2.1 自動制御設備の設計手順と設計図書構成

自動制御設備は、フィードバック制御とシーケンス制御の組み合わせを中心に設計されている。複数台の機材の台数制御などの少数の例外的な機能を除いて、センサ、調節部、操作器などをインプット/アウトプットが1対1になるように組み合わせて構成されている。制御設備がハードウェアで構成されているため、調節部、操作部、センサ部、制御対象を明確にし、対応する機材を適切に選定することで、確実に動作する制御設備を構築することができ、その制約の中で設計されている。そのため、機能のあいまいさ、矛盾は制御図やポイントリストを精査することで回避することができる。表1に設計図書の構成を示す。ソフトウェアの機能を記述する項目がない。

近年、制御の高機能化を図るためにPLCが利用されるようになってきている。PLCの機能はPLC内部のソフトウェアで定義される。これにより、台数制御、データの演算・集計、制御出力、ネットワークとの接続など多様な機能を一つのコントローラで実現できるようになった。そのため、設計図書にPLCソフトウェアの機能を記述することが必要になってきた。しかし、表1に示す設計図書には、記述する図面はなく、箇条書きやコメントとして補足のような要領で記述されることが多い。さらに、IoTの導入、制御対象設備の高機能化が進み、PLCソフトウェ

表 1. 自動制御設備設備の設計図書の構成

図面名称	説明
概要	建物の用途、建築設備の仕様、制御の目的などの全体像を示す。
制御図	発停制御、ループ制御などを示す。
ポイントリスト	起動、停止、監視、測定、演算、センシングするポイントなどの全体を示す。
機器表	使用する制御機器を記述する。指示調節計、リレー、タイマー、センサー、モーターダンパ、モーターバルブなど。
配線図	建物の中の機器配置、配線経路を示す。

アへの要求が複雑化していることに作図要領が追いついていない。機能を明確に矛盾ないPLCソフトウェアの仕様を記述する要領がもとめられている。

表 2. 自動制御の用語定義

用語	定義
調節部	センサーからの検出値と設定値の差から、その差を小さくするよう操作部に信号を出すドメイン。原則として1入力に1出力の対応関係となっている。
操作部	調節部からの信号で動作する、制御対象を操作する機材。電動弁、電動ダンパ、ポンプインバータ、ヒートポンプなど。
センサ部	制御対象の状態（温度、流量など）を検出する機材。
制御対象	制御される対象。本稿では、熱を運ぶ熱媒。
PLC	Programmable Logic Controller。汎用コントローラ。ソフトウェアで機能を定義する。

2.2 自動制御設備 設計図書 機能表現の研究例

Edward L. Gotowski, P.E. が自動制御における自動制御ソフトウェアの設計意図を記述するための要領として、設計図書とは別に Sequence of Operations [2] と呼ばれるドキュメントの作成要領と構成を提案している。Gotowski の業績は以下のものであった。

- 自動制御設備の設計図書を利用する技術者は、プロ

グラマ、コミッションングエイジェント、運用者、将来の運用者・エンジニアなど、専門分野が異なる多くの専門家の集まりであることを定義した

- 専門分野の異なる専門家が共有する情報をまとめるため、「Overall System Description」を重視した

Overall System Description では、専門用語を利用せずに、主要な制御対象機器とその機器が対象とする範囲を記述することを推奨している。制御ロジック、変数、設定値、制御ループなどを Overall System Description に続いて、すべて記述することを主張している。記述の必要性を宣言したが、具体的な記述要領は定義されていない。これらの内容を「システム全体の説明」としてまとめ、次に、実務に必要な動作の説明、定義に必要な変数の定義、変数の範囲の定義、制御シーケンス、表示方法、機器や機能の命名ルールなどを順次記載する。

我々は、近年の ICT 技術の高度化に伴う課題に対応するため、PLC ソフトウェア機能を構造化して記述する方法が必要であると考えている。

2.3 組込み制御の要件定義について

SESSAME は、「ハードウェア出身のマネージャーに分かってほしい 7 つのこと」[3] において、組込みソフトウェア開発の課題をまとめている。その中で、生産工程が未成熟であること、詳細を決めずに作ることが多いことを課題として指摘している。我々は自動制御設備の設計図書にソフトウェア開発の上流工程の知見を導入することで、ソフトウェアの仕様を現実世界から求められている事項として詳細化する手法を検討する。

2.4 MBSE(Model Based Software Engineering) との関係

MBSE(Model Based Software Engineering) を組込みソフトウェア開発の上流工程に導入する例が IPA(独立行政法人情報処理推進機構) によって提案されている [4]。モデルの表現には、SysML[5] が使われている。SysML は、UML をシステムエンジニアリング向けに適用させたものである。検討対象を、着目点ごとにユースケース図、ブロック定義図、要求図、シーケンス図など複数の観点から作成した図で表現する方法を定義している。開発

プロセスを通じて標準的に使えるモデリング言語とした。しかし、SysML はモデリング言語であり、現実世界とソフトウェアの関係を直接検討する手法ではない。そこで、本研究では制御ソフトウェアの機能を表現するためだけでなく、機能を検討する段階の手順を検討した。

3 問題フレームでの分析例と、実務者インタビュー

3.1 分析対象の概要

本稿では、空気調和設備のうち、自動制御設備を備えた冷熱源設備を対象として問題フレームの適用を検討する。冷熱源設備は冷房に必要な冷熱を製造し、熱媒を循環して建物内に供給するシステムである。熱媒は水が使われることが多い。

冷熱源設備を構成する機材である主な冷熱源機器を以下に示す。原則として PLC からの指示で起動/停止/設定変更などを行う。

- 冷熱を製造するヒートポンプ
- 熱媒に循環するエネルギーを与えるポンプ
- 配管
- 熱媒の流量を測定する流量計
- 熱媒の温度を測定する温度計
- 熱媒の圧力を測定する圧力計
- 熱媒の流れを切り替える電動弁

冷熱源設備は、これらの冷熱源機器で構成されているシステムである。冷熱源設備は建物内各所に設置した空調機と、配管により接続されており、熱媒は配管を介して冷熱源設備と空調機の間を循環する。

3.2 分析対象のドメイン

本稿での検討対象のドメイン定義を表 3 に示す。ドメイン構成を図 1 に示す。

図 1 左手の冷熱源設備で、温度管理された熱媒(往)は、配管を介して建物内各所の空調機に供給され、建物の冷房に利用される。冷房に利用されて温度が高くなった熱媒(復)は、冷熱源設備に戻り、冷熱源設備内のヒートポ

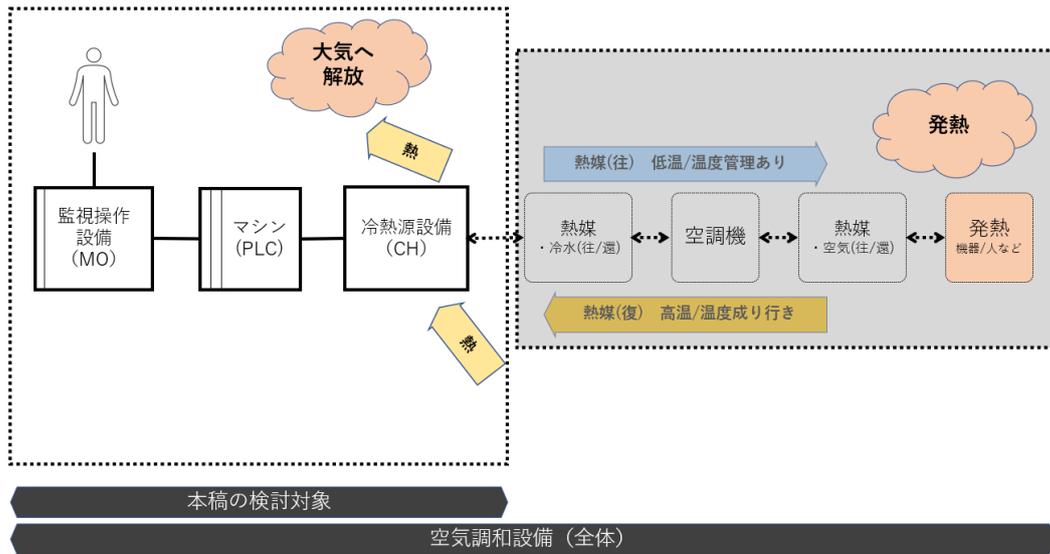


図 1. 空気調和設備のドメイン構成

表 3. 検討対象のドメイン定義

ドメイン	定義
冷熱源設備	冷房に必要な冷熱を製造し供給するシステム
マシン	冷熱源設備の PLC. PLC ソフトウェアで機能を定義される
監視操作設備	冷熱源設備を監視する設備

ンプにより熱を奪われ、冷熱源設備内で温度管理され、ポンプにより加圧され、再び熱媒（往）として建物内各所の空調機へ供給される。熱媒（往）と熱媒（復）の温度差に流量を乗じた冷熱量が、冷房に使用された冷熱である。配管には電動弁、温度計、圧力計、流量計が設置され、熱媒の流量を管理する。ヒートポンプは、熱媒（復）から奪った熱を大気に放出する。冷熱の製造に伴い発生する排熱は、大気に放出される。

熱媒（復）の温度や、必要な流量は、

- 建物への日射や外気温などの外乱要因
- 建物室内の人員や機材からの発熱
- 在室人員の変動に伴う換気量の変動

など、多様な要因で変動するため、冷熱源設備は変動に追

従することが求められる。また、用途によっては、無停止を求められるため、さらに

- 冷熱源機器のメンテナンスや故障など起因の停止
- 電源設備の切り替えによる一時停止/自動再起動

などの要求を満足することが求められる。

今回対象となるマシンである PLC は冷熱源設備を構成する一部であり、その機能は PLC のソフトウェアで定義されている。

3.3 コンテキストダイアグラム

図 2 に、今回の検討対象である冷熱源設備のコンテキストダイアグラムと、ドメイン間の共有現象を示す。

3.4 PLC ソフトウェア機能分析と表現

図 3 から図 6 に、冷熱源設備の代表的な機能である、

- 冷熱源設備発停（命令された振舞）
- 負荷変動への追従（必要とされる振舞）
- 監視操作設備への表示（情報表示のフレーム）
- 熱量の演算（変換フレーム）

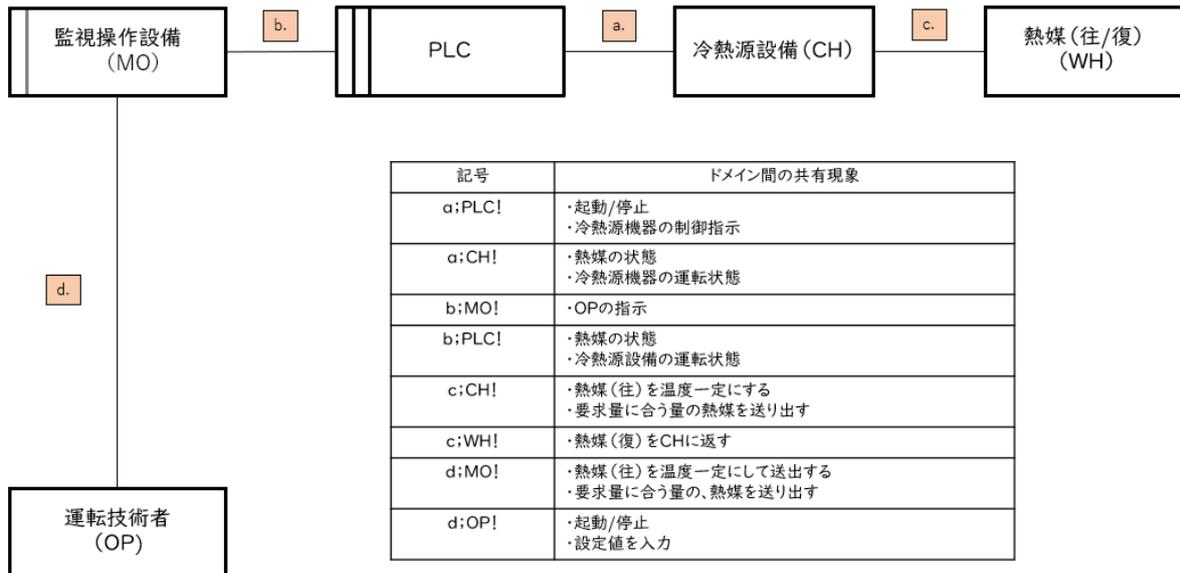


図 2. 冷熱源設備のコンテキストダイアグラム

について作成した問題フレームを示す。

図 3 に、冷熱源設備の発停に関する問題フレーム(命令された振舞)を示す。オペレータ操作であり、「命令された振舞」を適用する。

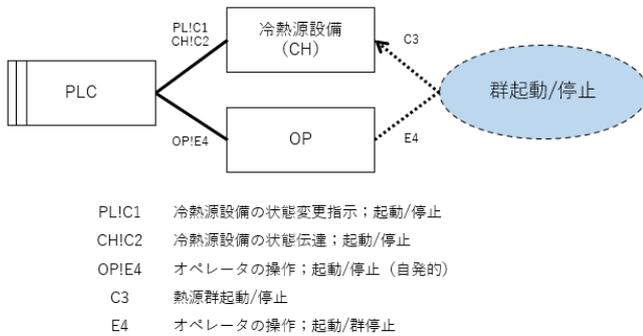


図 3. 冷熱源設備の ON/OFF(命令された振舞)

図 4 に、負荷変動に対する冷熱源設備の追従動作に関する問題フレーム(必要とされる振舞)を示す。

図 5 に、監視操作設備への情報表示に関する問題フレーム(情報表示)を示す。

図 6 に、熱量の演算に関する問題フレーム(変換フレー

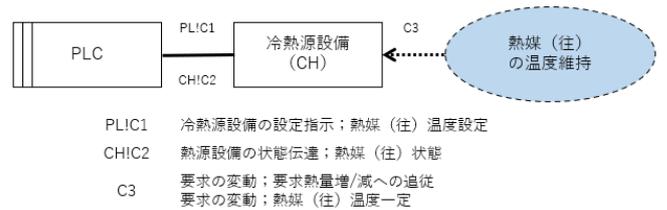


図 4. 負荷変動に対する冷熱源設備の追従動作に関する問題フレーム(必要とされる振舞)

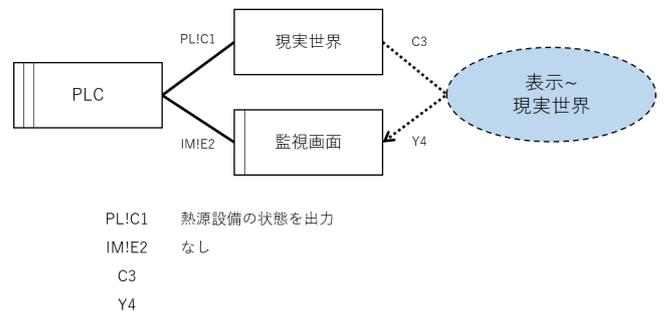


図 5. 情報出力に関する問題フレーム(情報表示)

ム)を示す。

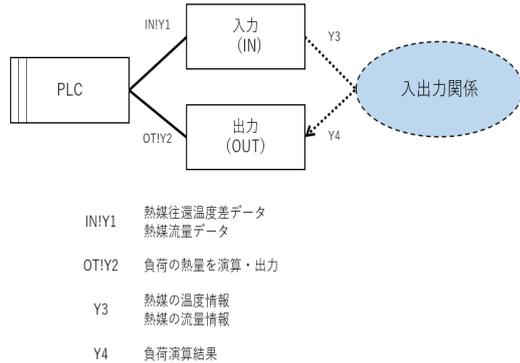


図 6. 熱量の演算に関する問題フレーム（変換フレーム）

3.5 建築設備技術者の可読性の確認

問題フレームやドメインはソフトウェア工学の知見であり、建築環境工学や機械工学の知見ではない。そのため、設計図書に記載しても読み取られない可能性がある。日常業務で、従来の作図方法を使っている技術者に作成したコンテキスト図、問題フレームを提示し、実務者の評価を受けた。実務者は実務経験のある、担当業務が異なる3人のインタビュイを選定した。

3.6 インタビュイの属性と内容

インタビュイの属性を表4に示す。自動制御設備の設計、施工一定の業務経験を積んでいるインタビュイを選定した。設計業務のうち、計画寄りで、自動制御設計/機械設備設計/電気設備設計など広い業務範囲の技術者1、施工寄りで自動制御設備に特化してのハードウェアやソフトウェアなどを業務範囲とする技術者3、その中間である技術者2の、業務担当範囲がことなる3名を選定した。

各インタビュイへ、それぞれ2回インタビューを行った。2回とも、同じ図を提示している。1回目は説明なしで読み取り内容を報告させた。2回目は、説明を添えてディスカッション形式で説明を実施し、気づいたこと、評価ポイント、改善点などをヒアリングした。

表 4. インタビュイの属性

	技術者1	技術者2	技術者3
職種	設備設計者	自動制御設備設計者	自動制御盤/PLCソフトウェア設計者
担当業務範囲	建築・電気・機械設計	機械設備設計	自動制御設備
実務経験	8年	15年	8年

各インタビュイへの提示した図は、図2のコンテキスト図1面と、図3～図6の問題フレーム4面である。

各インタビュイへのインタビュー手順を表5に示す。

表 5. インタビュイの手順

試行	説明	インタビュー内容
1回目	なし	ヒアリングにより読み取り内容を説明させた。
2回目	あり	ディスカッション形式で説明。気づいたこと、評価ポイント、改善要望などをヒアリングした。

2回目のディスカッション内容と目的を表6に示す。

表 6. インタビュイの内容と目的

質疑	目的
説明なしで理解できたか	設計図書として利用できることを確認する。
評価ポイント	現在設計図書が抱えている課題が改善されていることを実感できるか否か確認する。
汎用性	他用途建物に適用可否を意見聴取する。外部妥当性の評価資料を取得する

3.7 インタビュイの結果

インタビュー結果を表7に示す。ポイントリストで表現した場合と比較して、

- 要求と仕様の関係が、図で記述されているため、分かりやすいこと。従来の作図方法では、要求を推定しながら設計図書を読んでいたが、その必要がないこと

- ポイントリストで表現しようとしていたことに無理があったことが分かったこと。

が報告されている。これらはフレームを使用した表現に由来する効果であり、問題フレームを導入した結果であると考えられる。このことから、問題フレームは、自動制御設備の実務者に理解されうると判断できる。

4 考察

4.1 外部妥当性について

インタビューの中で、問題フレームを冷熱源設備以外に適用できるかヒアリングを行い、全員から、冷熱源設備制御だけではなく一般的な建築設備制御の分野でも使えるという回答を得ており、外部妥当性があると判断される。

4.2 内部妥当性について

インタビューは半年程度の期間、業務を通じ筆者と共同作業を行っていた。従来の作図方法であれば記述に矛盾やあいまいさが残ることは共通認識があり、解決策が必要であるという問題意識を共有するバイアスが掛かっていると考える必要がある。このため、今後さらに多くのインタビューの評価を受ける必要がある。

4.3 問題フレームが設計図書へ及ぼす効果

自動制御設備の高機能化に伴い、PLC が利用されるようになってきている。PLC はソフトウェアで機能を定義するため、設計図書に PLC ソフトウェアの機能を記述する必要がある。従来、PLC の機能はシーケンス図で記述されてきたが、シーケンス図で記述できる内容よりさらに多くの機能を PLC に期待するようになってきている。又、自動制御設備の設計者は、シーケンス図に習熟していないことが多い問題も有る。現在は、ハードウェアで制御設備を構成していた時代の作図方法を踏襲し発展させて対応している。一例として、ポイントリストの例を 7 に示す。ポイントリストは、機能を表に記号で記述する作図方法であり、記号で表示される各行の記述内容は、明快で記述も容易である。機能が複雑化、高度化した場合、表現しき

れない機能は自然言語で追記する方法が採られる。また、全体の機能を記述する概要は、リストに記載しきれないため、別図に自然言語やフロー図で記載する。その為、

- 記述の重複、矛盾などが発生することがある。また、実務経験者であっても設計図書の間違いの発見が難しいこと
- 要求が分析・明記されておらず、また要求とソフトウェアの仕様の関係が記載されていないため、ソフトウェアが要求に適合していることを確認する作業が困難であること。また、要求変更が発生した場合の対応が難しいこと
- 要求が複雑になった場合、要求の分析、記述が難しくなること。曖昧な記述になる可能性があること

などの課題がある。この結果、現場では「設計は正」という前提のもと、施工者チェックが働かない課題があった。

問題フレームは複雑な現実世界の要求を分析・分割し、記述する手法である。設計図書に記述したい複雑な要求を、小さな要求に分割し、フレームで記述する。その為、

- 要求とソフトウェアの仕様の関係をフレームで明示できる
- 視点を制限することで設計者の個人差が現れにくくなり、設計図書としての品質が均質化する効果が期待できる

などの特徴がある。

これらの問題フレームの特徴により、

- 要求ごとに一葉ずつ問題フレームが記述されるため、記述の重複、矛盾などを回避することができること
- ソフトウェアが要求に適合していることの確認が容易になる。要求変更が発生した場合の対応が容易になること
- 複雑な要求を設計段階で合理的に分割し、記述できるようになることで、曖昧さを回避できること
- 設計者ごとの設計図書品質のばらつきが少なくなること

などの効果が期待できる。今後、自動制御設備への要求

表 7. インタビューの回答

インタビュー	技術者 1 回答	技術者 2 回答	技術者 3 回答
説明なしでの理解	・理解できた	・理解できた	・理解できた
評価ポイント	・冷熱源設備制御の全体と部分の関係を理解できる。	・見積段階では、時間に限りがあり、ポイントリストのみで表現している。関係は其中でコメントや記号で表現しようとしているが、それが無理表現できない関係が一目でわかった。	・見積段階では、ポイントリストのみで表現している。関係は其中でコメントや記号で表現しようとしているが、それが無理なことが一目でわかった。
	・機能と関係が直接記載されている。従来は、関係を読み取るために、配線図と簡条書きと注釈から読み取った結果から関係やそれぞれの役割を読み取る必要があったが、作図上の問題が改善されている。	・部分と部分の関係が若手に伝承が難しい経験値と考えていたが、わかりやすく図示されている。	・読み手の経験値や技術的な背景を期待しないで話ができるため、使いやすい。
	・作図すべき図面が増える。作業時間が取れないので、作図時期を考慮する必要がある。	・作図すべき図面が増える。作業時間が取れないので、作図時期を考慮する必要がある。	・読み手の経験値や技術的な背景を期待しないで話ができるため、使いやすい。
汎用性	・冷熱源設備制御設備以外の制御設備にも適用できる。	・冷熱源設備制御設備以外の制御設備にも適用できる。	・冷熱源設備制御設備以外の制御設備にも適用できる。

がさらに高度化、複雑化することが見込まれるが、ソフトウェア技術者、建築設備技術者双方にわかりやすい表現が可能になることが期待できる。

4.4 設計図書へのドメインの導入について

問題フレームを導入するにあたり、ドメインを定義する必要がある。しかし、建築設備の分野にはソフトウェア工学の知見が導入されていないこともありドメインを定義する習慣がない。

建築設備の文弥では、冷熱源設備（主に屋外に設置）、空調機（主に室内に設置）、配管・ダクト、制御（含監視操作設備）という4区分に分けて設計・検討することが一般的である。これは、

- 建物の屋外と屋内にそれぞれ機械を設置し配管で接続し、熱媒を循環して冷暖房を行うという建築的な要因
- 建築計画とは直接関係しない自動制御設備

の特性に由来していると考えられる。本研究を進めるにあたり、建築設備技術者にとっての馴染みやすさを考慮し、当初はこの区分をドメインと見做してコンテキストダイアグラムと問題フレームを作成しようとした。その結果、

- PLCソフトウェアから現実世界を見た場合に、粒度が違うドメインになっていること
- オペレータのドメインが想定されていないこと

などの不都合が生じた。

本稿では、図1のように、冷熱源設備、配管・ダクト、制御（含監視操作設備）を一つの例熱源設備として検討対象範囲を決定した。冷熱源設備の中で、マシン、監視操作設備（MO）、冷熱源設備（CH）をドメインで分けるようにした。

問題フレームを導入するにあたり、設計者は記述したい要求に対し、検討範囲を設定し、その中で適切にドメインを定義する必要がある。建築設備技術者はハードウェアから考える習慣がついているため、習熟に課題があることが考えられる。

自動制御機器表

(資料 3)

NO	制御項目	機器記号	機器種類	仕様				取付場所	備考
				入力	出力	レンジ/測定範囲	電源		
1	冷温水ヘッダ差圧制御	SPF-31	差圧検出器	4 ~ 20mA DC	4 ~ 20mA DC	0 ~ 600kPa	24VDC	ヘッダ側	
		SPIC-31	差圧指示制御器	4 ~ 20mA DC x 2	4 ~ 20mA DC x 2	0 ~ 600kPa	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	過剰設定: DDC-1より、計測: DDC-1へ
		PCF-31	差圧制御弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	ヘッダ側	
		PU-31	差圧電源	AC100V	24VDC			自動制御盤 (OP-1)	
2	GE-1 廃熱利用冷房時制御	TEF-31	温度検出器		Pt100 x 2			#1 冷水出口	ダブルエレメント: DDC-1/TIC-23 へ
		TIC-23	温度指示制御器	Pt100	4 ~ 20mA DC	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		TOV-21	電動三方弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	#1 熱温水出口	
		Tr-23	トランス	AC100V	AC24V			自動制御盤 (OP-1)	
3	GE-1 廃熱利用暖房時制御	TEF-34	温度検出器		Pt100			HEX-2 二次側出口	
		TIC-21	温度指示制御器	Pt100	4 ~ 20mA DC	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		THV-21	電動三方弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	HEX-2 一次側出口	
		Tr-21	トランス	AC100V	AC24V			自動制御盤 (OP-1)	
4	GE-1 熱源水通り温度制御	TEF-22	温度検出器		Pt100			HEX-3 二次側出口	
		TIC-22	温度指示制御器	Pt100	4 ~ 20mA DC	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		THV-22	電動三方弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	HEX-3 二次側出口	
		Tr-22	トランス	AC100V	AC24V			自動制御盤 (OP-1)	
5	R-2 冷水入口温度制御	TEF-15	温度検出器		Pt100			#2 入口	
		TIC-11	温度指示制御器	Pt100	4 ~ 20mA DC	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		TOV-11	電動三方弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	冷水蓄熱槽高運転	
		Tr-11, 12	トランス	AC100V	AC24V			自動制御盤 (OP-1)	
6	PC-02 圧力制御	PE-11	圧力検出器		4 ~ 20mA DC	0 ~ 300kPa	24VDC	HEX-1 一次側入口	
		PIC-11	圧力指示制御器	4 ~ 20mA DC	4 ~ 20mA DC	0 ~ 300kPa	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		POF-11	圧力制御弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	PC-02 入パイプ	
		Pr-11, 14	トランス	AC100V	24VDC			自動制御盤 (OP-1)	
7	HEX-1 温度制御	TEF-32	温度検出器		Pt100			HEX-1 二次側出口	
		TIC-12	温度指示制御器	Pt100	4 ~ 20mA DC	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		TOV-13	電動三方弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	冷水蓄熱槽高運転	
		Tr-13	トランス	AC100V	AC24V			自動制御盤 (OP-1)	
8	CT-1 開閉制御	TEF-41	温度検出器		Pt100			CT-1 出口	
		TIC-41	温度指示制御器	Pt100/4 ~ 20mA DC	4 ~ 20mA DC x 2	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	過剰設定: DDC-1より、計測: DDC-1へ
	冷却水温度制御	TOV-41	電動三方弁	4 ~ 20mA DC			AC24V	CT-1 出口	
		Tr-41	トランス	AC100V	AC24V			自動制御盤 (OP-1)	
9	蓄熱槽水位制御	TEF-42	温度検出器		Pt100/4 ~ 20mA DC			CT-1 出口	
		TIC-42	温度指示制御器	Pt100/4 ~ 20mA DC	4 ~ 20mA DC	-50.0 ~ 100.0 °C	AC100V	自動制御盤 (OP-1)	過剰設定: DDC-1より
		LF-1	浮遊リレー	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	冷水蓄熱槽	
		AOV-1	電動ボール弁	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	蓄熱槽水配管	
10	DDC-1 機能	Ry-11, 12	補助リレー	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
		RF-31, 32	電動パタフライ弁	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	ヘッダー側冷水配管	DDC-1: 自動制御盤 (OP-1) に収納
		RF-33, 34	電動パタフライ弁	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	ヘッダー側温水配管	
		Ry-31 ~ 34	補助リレー	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	自動制御盤 (OP-1)	
11	DDC-2 機能	FM-31	電流流量計	4 ~ 20mA DC	0 ~ 4000l/min		24VDC	冷温水通り配管	
		PU-32	差圧電源	AC100V	24VDC			自動制御盤 (OP-1)	
		TEF-36, 37	温度検出器		Pt100			冷温水通り、往き配管	
		TEF-33, 35	温度検出器		Pt100			HEX-1, HEX-2 二次側出口	
冷/暖切替制御	RV-21	電動パタフライ弁	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	HEX-3 温水入口	DDC-2: 自動制御盤 (OP-1) に収納	
	RV-22	電動パタフライ弁	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	#1 熱温水入口		
	Ry-21, 22	補助リレー	ON/OFF	ON/OFF		AC100V	自動制御盤 (OP-1)		
	TEF-11 ~ 14	温度検出器		Pt100			冷水蓄熱槽		
蓄熱制御	TEF-16, 24	温度検出器		Pt100			#2 出口, PG-1 出口		
	TEF-17, 21	温度検出器		Pt100			HEX-1, HEX-2 一次側出口		
	TEF-23	温度検出器		Pt100			#1 熱温水出口		

平 2.3

2 級 実地-乙 No. 5 75

図 7. ポイントリストのサンプル

4.5 冷熱源設備へ要求の種類と問題フレーム

本稿では、冷熱源設備の要求として、4 例作成した。そのほかの冷熱源設備への主な要求として、冷熱源設備への要求例と、適用する問題フレームの種類を表 8 に例示する。

5 まとめ

近年、建築設備の自動制御に PLC が利用されるようになり、PLC の機能を定義するソフトウェア機能を設計図書に記述する必要が生じている。しかしソフトウェアの機能は、ハードウェアの機能と区別されずに、コメント、箇条書きと若干の図表で記述する方法がとられている。

制御システムに組み込む PLC のソフトウェアに関わる要求を分析し、構造化することで、相互に作用しあう副問題の集まりとして問題を構造化することができ、考慮す

表 8. 冷熱源設備への要求例と、適用問題フレーム

問題フレーム	要求
命令された振る舞い	冷熱源設備起動 (システムの起動/停止)
必要とされる振る舞い	熱媒 (往) 温度一定制御
	要求熱媒の増減に対する供給量一定制御
	冷熱製造量に対する冷熱源消費電力の最小化
情報表示	冷熱源設備を構成する機材の稼働状況
	各センサーの読み値表示.
	トレンドグラフの作成.
変換	運転データの統計値の表示.
	各種フィードバック制御.
単純な仕掛品	需要予測, 運転予測.
	該当なし.

べき事項が明らかになり、段階的詳細化の手順が明らかになると考えられる。

本稿ではソフトウェア工学の知見である問題フレームを、自動制御設備の問題構造化に適用し、ドメインを適切に設定することで、制御構造を明示できることを確認した。また、作成した問題フレームを実務者に提示し、設計意図が共有できることを確認した。考察として、設計図書の一部として、設計者が問題フレームを作成する場合の課題を考察した。

インタビューの結果、設計意図の伝達に有効であること、ケーススタディ以外の設備にも適用可能と考えられることが確認された。今後、実務に適用していくにあたり、より専門分野が異なる多くのインタビューへのリアリングによる評価と、他設備への適用にむけた検討が必要である。

参考文献

- [1] マイケルジャクソン. プロブレムフレーム ソフトウェア開発問題の分析と構造化. 株式会社廣済堂, 2006年5月22日.
- [2] EDWARD L GOTOWSKI. *Sequence of Operation for Mission Critical Building Automation Systems*. ASHRAE JOURNAL, JULY, 2016.
- [3] SESSAME 組込みソフトウェア管理者・技能者育成研究会. ハードウェア出身のマネージャーに分かってほしい7つのこと ver1.01. www.sesame.jp.
- [4] IPA 独立行政法人情報処理推進機構. モデルベースシステムズエンジニアリング導入の手引き.
- [5] Ph.D Laurent Balmelli. An overview of the systems modeling language for products and systems development. pp. 149–177, 2007.