

パワープラント分野におけるシステムモデリング技術

System Modeling Technology for Powerplant Control Systems

村上 真*

Makoto MURAKAMI

久木 隆*

Takashi HISAKI

野村 和範*

Kazunori NOMURA

笠原 康彦*

Yasuhiko KASAHARA

要 旨

自動車の制御システム開発は、燃費向上、環境対策、高い安全性を達成するために年々複雑化している中で、開発期間の短縮が求められている。システムが複雑化、大規模化するほど、V字プロセス開発の上流設計の精度がその後の工程に与える影響が大きく開発期間短縮の大きな課題となっている。この課題を解決するために、ユースケースシナリオや品質機能展開シート(QFDシート:Quality Function Deployment Sheet)を用いて要求抽出をおこない、要求分析とシステムモデル設計手法であるModel Driven System Engineering(MDSE)の要素を取り入れたTotal Trial Sheet(TTS)を用いて要求分析とシステムモデル設計をおこなうことで、開発初期段階での仕様完成度を上げる手法を考案した。

ABSTRACT

Developing automobile control systems requires shortened development times even as it becomes more complex each year to enhance fuel efficiency, take environmental measures and meet high safety standards. The more complex and large-scale a system becomes, the greater the impact that upstream design precision during V-process development has on subsequent processes, and the greater the issue becomes of shortening development time. To resolve this issue, this research devised a technique that uses a use-case scenario and a Quality Function Deployment sheet (QFD sheet) to elicit requirements. In addition, it uses a total trial sheet (TTS) incorporating elements of Model Driven System Engineering (MDSE), a requirements analysis and system model design technique, to analyze requirements and design a system model, thereby increasing specification completeness at the start of development.

1. はじめに

制御システム開発では、Fig. 1に示すようなV字プロセスといわれる開発スタイルがよく用いられる。これは、仕様検討段階から製品完成に至る一連の流れをV字にたとえ、設計したものを検証し、不具合があれば仕様を修正し検証するといったことの繰り返しで開発を進めていくものである。最近では、検証に至る前の仕様設計時において、シミュレーションツール(Matlab, Simulink)により設計し、ソフト開発していく手法が用いられている^{(1), (2)}。これによって、仕様上の論理的な間違いや仕様と実装コードの不一致など、設計ミスを事前に検出することにより、実機検証時の負荷が減り、効率よくソフト開発をおこなうことができる。これまでのパワープラント開発においては、仕様と実装コードの一致は、高い開発効率をもたらしてきた。一方、マイコンの性能アップがソフトウェア数の急激な増

*四輪 R&D センター

加を可能としたエレクトロニクス分野のように、大規模システムの開発になるほど、要求抽出および分析とシステムモデル設計の開発比率が増大するといわれており⁽³⁾、仕様

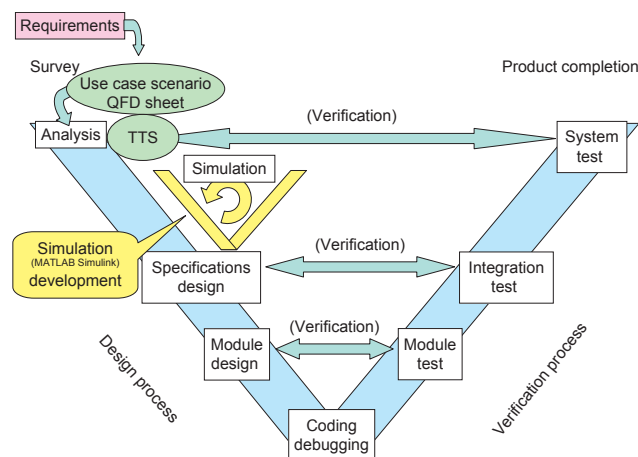


Fig. 1 V-process development

と実装コードの一致性だけでなく、実装以前の要求と仕様の整合性を高めていくことが重要となる。

今後の自動車の制御システム開発は、複雑化することが予測され、さまざまな取り組み⁽⁴⁾、⁽⁵⁾が試みられており、開発初期段階での仕様完成度を上げるためには、要求抽出および分析とシステムモデル設計を効率良くおこなう手法を検討する必要がある。

2. 開発のねらい

パワープラントシステム開発においては、開発効率と品質向上のため制御仕様書を実装コードに近いところまで記述している。これによってソフトウェアの開発期間短縮と品質向上を達成した。その一方で、このような制御仕様書は設計者以外には、その根拠、経緯がわからないという欠点があり、設計者の技術伝承が困難になりつつあることが顕在化している。

今後のシステムの大規模化に対して上記課題を解決し、開発効率を向上させるためには、V字プロセス開発の上流設計段階において、要求抽出および分析とシステムモデル設計を効率よく実施し、その過程を第三者にもわかる形でドキュメントとして残すことが重要であると考え、開発のねらいと定めた。

上記のねらいを達成する手段として、下記の手法を考案する。

(1) ユースケースシナリオおよび QFD シートを用いた要求抽出手法

(2) MDSE の要素を取り入れた TTS を用いた要求分析とシステムモデル設計手法

手法 (1)、(2) の関係を Fig. 2 に示す。

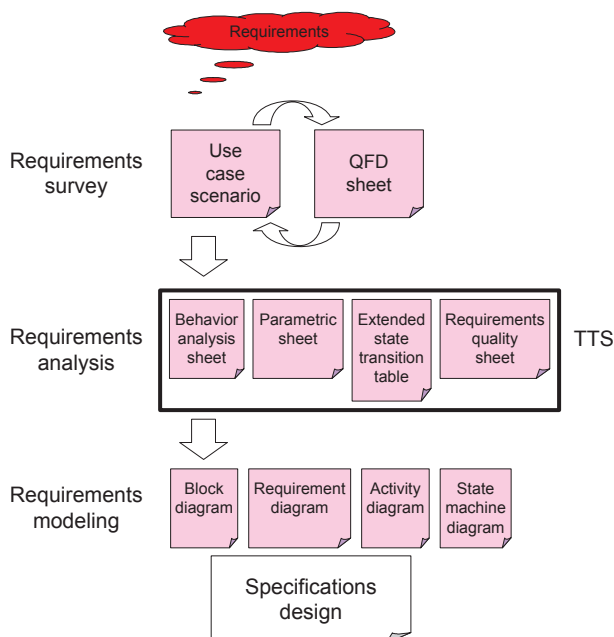


Fig. 2 Development flow

3. 要求抽出手法

上流設計段階において要求抽出をおこなうために、ユースケースシナリオを用いて要求を抽出し、その要求に対するシステム構造、制約、要求品質を明確にするために、QFD シートを作成する。

3.1. ユースケースシナリオによる要求抽出

ユースケースシナリオ⁽⁶⁾とは、要求を引き出しやすくするためにシーンを設定して、そのシーンに基づいて要求を獲得するものである。この段階においては該当制御が利用される代表的なシーンを 5W1H の When, Where, What, Who, Why, How に着目してリストアップする。リストアップされたシーンに対して、基本的にテキスト形式で記述するシナリオを作成するが、はじめにシステムが正常動作する場合のシナリオをメインシナリオとして作成する。パワープラント ECU の制御仕様書に適用した記述例を Fig. 3 に示す。メインシナリオ中の正常動作をする条件が成立しなかった場合を拡張シナリオとして作成する。また、過去のトラブルや、設計者の知見を生かし例外シナリオを洗い出し、異常系の要求を抽出する。パワープラント ECU の制御仕様書に適用した際の拡張シナリオと例外シナリオの例を Fig. 4 に示す。こうしてシナリオで記述することによって、システムの機能を振舞として記述する。

Inquiry work of scenario according to scene

Main actor: Compatibility check

Actors: Compatibility information, MIL, meter, ECM, TCM

Case 1: Cycle of usual drive

- Case1-1: A compatibility check transmits compatibility information to other units, when it becomes Ignition-ON.
 Case1-2: A compatibility check will perform a compatibility check if compatibility information about other units is received.
 Case1-3: The compatibility check compares the compatibility information on other units with compatibility information on the subject unit, and judges a compatibility error.

MIL; Malfunction indicator lamp
 ECM; Engine control module
 TCM; Transmission control module

Fig. 3 Use case scenario

Case1: Cycle of usual drive

<Extended scenario>

- Case1-1: *****
 Case1-e1: *****
 Case1-2: A compatibility check will perform a compatibility check if compatibility information about other units is received.
 Case1-e2: When compatibility information about other units cannot be acquired, a compatibility check judges a compatibility error, and ends the compatibility check of this driving cycle.
 Case1-3: *****
 Case1-e3: *****

<Exception scenario>

- Case1-ex1: After Ignition-ON, when compatibility check judged that the power supply was shut off, And compatibility check will perform a compatibility check again.

Fig. 4 Extension scenario and exception scenario

3.2. QFD シートによるシステム構造, 制約, 要求品質の明確化

QFD シートとは, シーンごとの要求と方式および技術の検討をおこない, システム構造, 制約, 要求品質を明確にするものである. QFD シートを Fig. 5 に示すようなテンプレートとして用意することで, より多くの要求を抽出できるように網羅性を高めていく. 製品開発では, 要求元がシステム全体を把握していない場合, インタビューだけでは, 要求の実現手法を決定することができない. QFD を通して漠然とした要求を, 品質特性や制約について明確にすることで具体的な要求にしていける.

ステークホルダ (利害関係者) が誰で, システムとどのよ

うに関わるかを抽出するために, ユースケースシナリオのメインシナリオを導き出したシーンをもとに, 下記の手順にて技術的な要求を導く.

(1) シーンの選定

ステークホルダを抽出し, ステークホルダがシステムと関わるシーンを洗い出す. シーンの詳細をシナリオ欄に記載していく. 例を Fig. 6 に示す.

(2) 要求の選定

それぞれのシーンでシステムに求められる要求を洗い出す. その要求元が誰なのかを明確にする.

(3) 実現技術の明確化

要求を実現するソリューションを洗い出し, ECU で実現させるための制約を明確にする. 例を Fig. 7 に示す.

(1)		(2)	(3)	(4)		(5)																																			
Scenario Scene		System requirement	Method/ Technology (Changing point)	Technical requirements		Quality characteristics																																			
		Relation post				Safety	Desti- nation	Marketability								Vehicle status		Quality	Amenity																						
				Technical requirements	Changing point			Past fault	Past method	New method	Driver	Car	Engine	Service	ECM	TCM	Meter	Regulations	Information	Safety	User	Battery	Seat belt	USA	Japan	Noise	Drivability	Sound insulation	Vibration	Starting	Running	Fuel consumption	Meter	Convenience	Cost	Security	Environment	Warranty	Acceleration	Price	Weight

Fig. 5 Quality function deployment sheet

(1)	
Scene	Scenario
Cycle of usual drive	A compatibility check transmits compatibility information to other units, when it becomes Ignition-ON.

Fig. 6 Scene and scenario

(2)		(3)			
System requirement		Method/ Technology (Changing point)			
Requirement item	Requirement origin	New method	Past method	Past fault	Changing point
Transmits compatibility information	Compatibility check	○		Check for fault detection timer	

Fig. 7 Requirements and method

(4) 技術要求の選定

抽出された課題に対するソリューションがどのような品質特性に関連しているかを確認することで、要求品質を抽出する。例を Fig. 8 に示す。

(5) 品質特性による分類

抽出された課題にたいするソリューションがどのような品質特性に関連しているかをチェックする。また、QFD

シートから構成するコンポーネントを確認し、システムの構造を明確にする。例を Fig. 9 に示す。

以上のように、QFD シートにて、システム構造、制約、要求品質を明確にする。明確になったシステム構造、制約、要求品質、新たなシナリオをユースケースシナリオに反映し、要求文書として管理する。

(4)								
Technical requirements								
Technical requirements	Relation post							
	Driver	Car	Engine	Service	ECM	TCM	Meter	Regulations
Add compatibility communicative function					○	○	○	○

Fig. 8 Relation post

(5)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Quality characteristics																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Amenity	Quality	Vehicle status	Marketability														Safety																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
			Guarantee	Maintenance	Start	Shift position	Water temperature	Weight	Price	Acceleration	Warranty	Environment	Security	Cost	Convenience	Meter		Fuel consumption	Running	Starting	Vibration	Sound insulation	Drivability	Noise	Japan	USA	Seat belt	Battery	User	Safety	Information																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

Fig. 9 Quality characteristics

4. 要求分析手法

QFD シートにて、要求抽出されたシステム構造、制約、要求品質を反映したユースケースシナリオを高い精度で効率よく分析するために、TTS を用いて整理する。TTS とは、自然言語で書かれた要求文書を整理するために、要求を振舞、構造、制約、要求品質の観点で表形式にまとめたものである。

以下に四つの観点の詳細とシステムモデル設計の手順を述べる。

4.1. 振舞分析によるモデル設計

振舞分析とは、要求文書の文中からシステムが持つ状態と遷移、および各状態におけるアクションについて記述している行を抽出、分析することを指す。

分析手順としては、初めに要求文書から振舞を表す行を抽出し、一行ごとにコンポーネント、事前状態、トリガ、アクションに分離し、TTS の振舞検討シートに記入していく。主語や目的語が書かれていない文書があった場合は、要求分析者が前後の文から不足する言葉を推測し振舞検討シートに追記する必要がある。その一例を Fig. 10 に示す。

Serial	Requirement																
	ID																
1	1	A compatibility check transmits compatibility information to other units, when it becomes IG-ON.															

Prior state				Trigger				Relationship (Prior state and trigger)	Action							
State ID	Block	Property	Condition	Trigger ID	Block	Property	Action		Action ID	Block	Object1		Object2		Action or state	
											Block	Property	Block	Property	Operation mode	Verb
C0101	System		IG-OFF	T0101			IG-ON	C0101&T0101	A0101	Compatibility check		Compatibility information	Other units			Transmits

Fig. 10 Total trial sheet (behavioral constructs study)

また、自然言語で書かれた要求文書は、同一内容を異なる言葉で表現されることがあるため、そのままモデル設計をおこなうと、類似した状態やトリガが多くなり複雑なモデルとなる場合がある。そこで、名寄せ（類似、重複する言葉を整理することを示す）をおこない、上記の不都合を抑制する。Fig. 11 に名寄せの一例を示す。次に名寄せにより整理された状態、トリガとアクションを基に拡張状態遷移表を作成する (Fig. 12)。行に状態、列にトリガを配置し、各組み合わせにおけるアクションと遷移先を記載していく。拡張状態遷移表は状態遷移図を作成する上で必要となる情報が網羅されている。状態遷移図を作成することによって、自然言語で書かれた要求文書では抽出が容易でない遷移が発見可能となる (Fig. 13)。

4.2. 構造分析によるモデル設計

構造分析とは、要求文書の文中からシステムを構成するコンポーネントの構造や関係とそのコンポーネントの持つ機能について記述している行を抽出、分析することを指す。

コンポーネントとはシステム、部品、物理デバイスを指し、制御システムの観点とハードウェアの観点双方から抜き出す必要がある。4.1. 節では振舞を表す文書からコンポーネントを抽出した。本節では振舞以外の文書（以下、説明文と呼ぶ）からもコンポーネントを抽出し、名寄せをおこなう。名寄せ結果を基に、各要素が既存システムや手法に依存しているかを確認し、既存システムへの依存度を基準に階層化（依存度が低いものを上位とする）をおこない、結果をブロック図としてまとめる (Fig. 14)。

4.3. 制約分析によるモデル設計

制約分析とは、要求文書の文中から諸元や目標性能など、数値で決められた仕様や制限について記述している行を抽出、分析することを指す。

要求文書の中で、数字で表現されている部分で性能や限界値など仕様を表している部分から制約式を検討し、制約式に使われる変数を抽出して制約図を作成する。一例として、ECM の互換性制御に関する制約図を Fig. 15 に示す。

Serial	Prior state			
	State ID	Block	Property	Condition
14	C0901	System	State	Compatibility judge
15	C2801	System	State	Compatibility check
16	C3001	System	State	Compatibility analysis

Fig. 11 Example of term unification

				State ID	S10	S100	S200	S210	S220
				State name	Sleep	Initialization	Compatibility check		
				Trigger			Data not received	Compatibility judging	Complete
				ID	Block	Property	Action		
				T0401	IG	State	ON	S100 TX0401	
				T0402	ECM	State	Initialization process is completed	S200 TX0402	
				T0501	ECM	State	Received compatibility information	S210 TX0501	
				T0601	ECM	State	Judged compatibility (Pass)	S220 TX0601	
				T0602	ECM	State	Judged compatibility (Fault)	S220 TX0602	
				T3101	IG		OFF	S10 TX3101	S10 TX3101
				Action ->				AC0401	AC2801
								AC0402	

Fig. 12 Extended state transition table

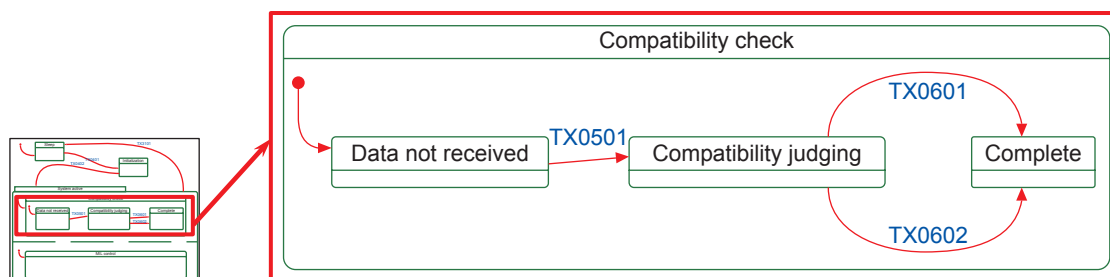


Fig. 13 State machine diagram

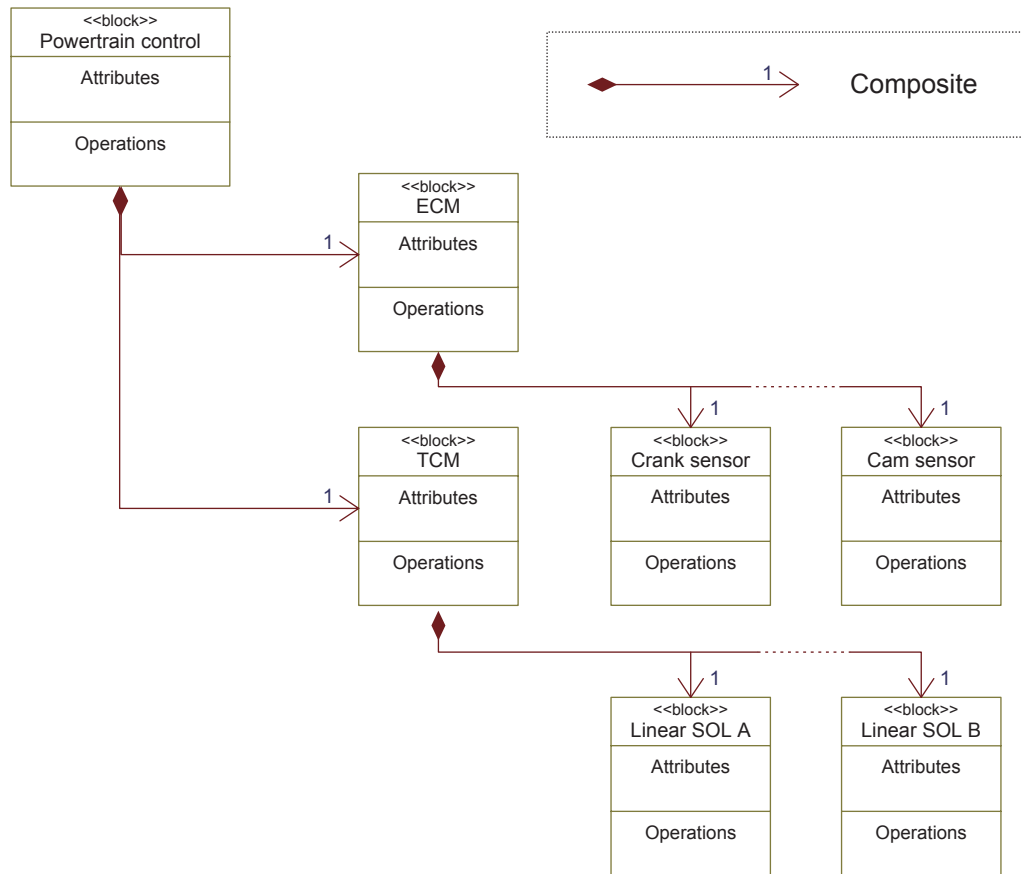


Fig. 14 Block diagram

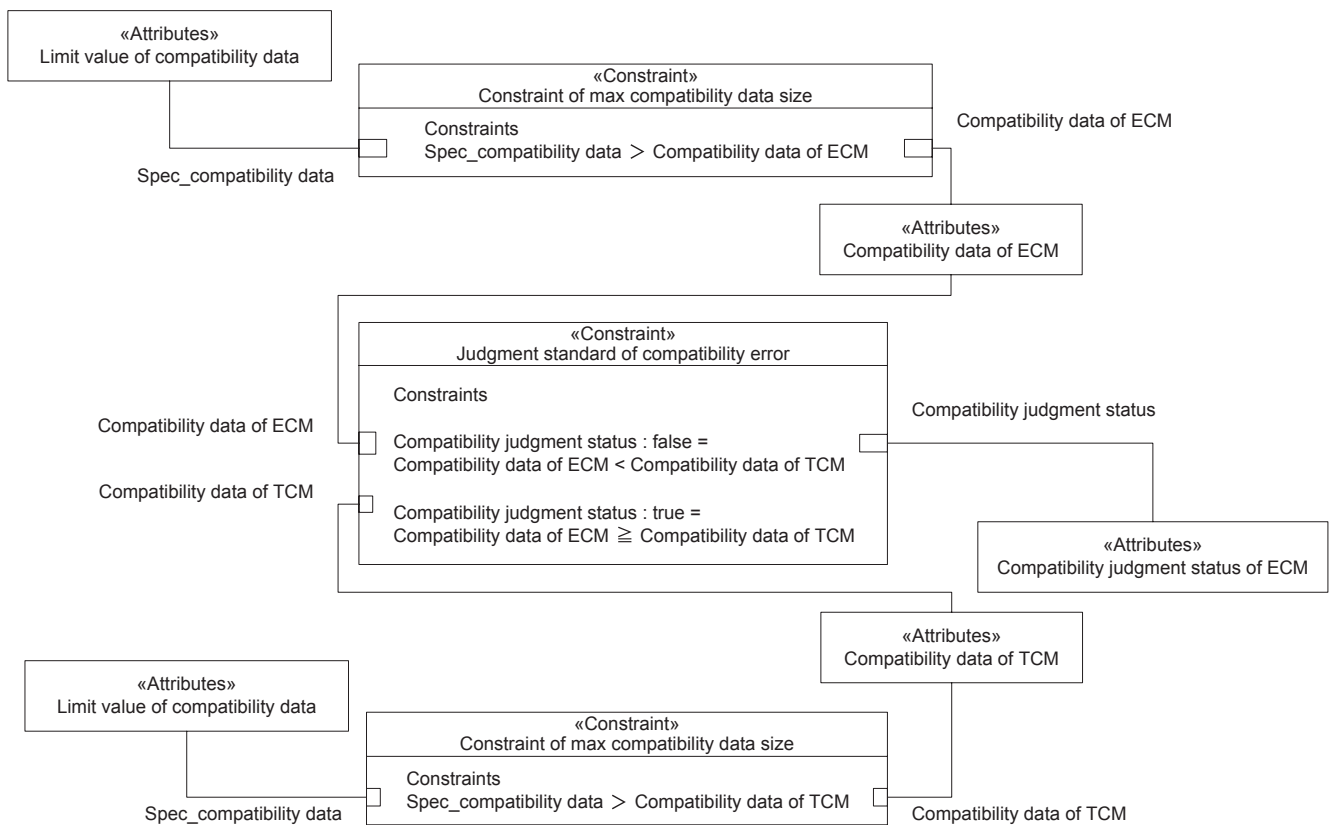


Fig. 15 Parametric diagram

本図は ECM, TCM がある規定値内の互換性情報をそれぞれ持ち、その大小関係により、互換性判定をおこなっていることを示している。

4.4. 要求品質分析によるモデル設計

要求品質分析とは、要求文書の文中から品質的な要求のうち、数値では表せない要求について記述している文章を抽出、分析することを指す。

程度をあらわす言葉をもとに、文章中にある副詞や形容詞もしくは「最適な」「自動的」など、達成する程度や状態などの定性的な要求項目を抽出し、要求図に記載する (Fig. 16)。要求品質は上流設計段階においては要求図にまとめる作業までに止め、具体的な実現方式を検討する段階で振舞や制約に展開する。

4.5. 振舞の詳細化とモデル設計

4.1. 節で作成した状態遷移図は状態に含まれるアクションを表現していない。本節では、振舞を明確にするために、アクティビティ図を用いて機能展開をおこなう。各状態におけるアクションはアクティビティ図を用いて表現する。アクティビティ図では各アクションの内容から流れていく情報を想定しオブジェクトフローを追記する。コンポーネント間で情報を共有している一例を Fig. 17 に示す。アクティビティ

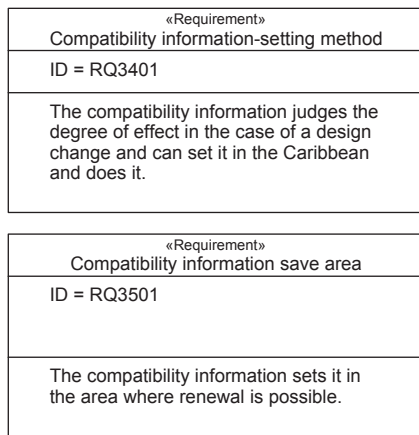


Fig. 16 Requirement diagram

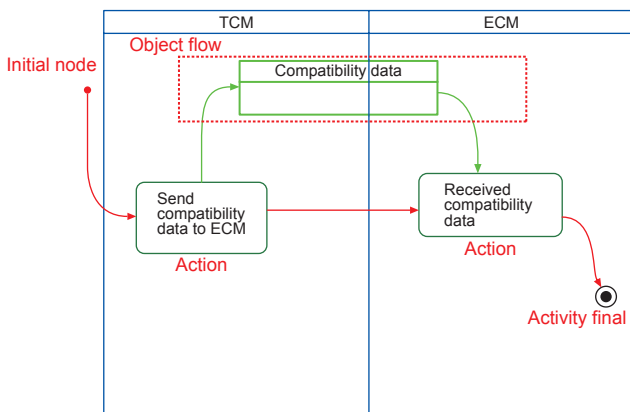


Fig. 17 Activity diagram

図を用いて振舞いを詳細化することよりコンポーネント間で共有するデータが明らかとなり、連続性の観点からコンポーネント間で共有するデータの不足を発見することができる。

5. まとめ

ユースケースシナリオおよび QFD シートを用いて要求抽出をおこない、要求分析とシステムモデル設計手法である MDSE の要素を取り入れた TTS を用いて要求分析とシステムモデル設計をおこなうことで、開発初期段階での仕様完成度が上がり、V字プロセス開発という下流開発への容易な移行ができ、上流への手戻りを防ぐことができる手法を考案した。

参考文献

- (1) 箕輪信太郎, 廣田俊明, 横山浩紀, 石黒哲矢, 大塚訓: パワープラント制御ソフトの自動生成, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.1, p.243-248
- (2) 松山芳博, 萩原顕治, 清野聡: 自動変速機用制御ソフトウェア開発への実行可能な仕様書の適用に向けた取り組み, Honda R&D Technical Review, Vol.21, No.2, p.109-117
- (3) <http://www.stevemccconnell.com/articles/art06.htm>
- (4) <http://www.autosar.org/>
- (5) 片井正行: 電子制御ソフトウェア開発の要求管理プロセスの事例紹介, IBM, AT International 2008
- (6) アリスター・コーバーン, 訳一山岸耕二, 矢崎博英, 水谷雅宏, 篠原明子: ユースケース実践ガイドー効果的なユースケースの書き方 Writing Effective Use Cases, (株)翔泳社, p.331(2001)

■著 者■



村上 真



野村 和 範



久木 隆



笠原 康 彦