

要 旨

現在のメカトロニクスシステムの開発プロセスでは、メカ・エレ・ソフト各分野における仕様を統一的に記述する標準的手法が確立されていない。この問題解決のため、本研究では、UML2.0の拡張版である SysML を利用し、電動車椅子の具体的設計仕様記述を行った例を報告する。SysML の特徴である要求条件の記述、システムのサブシステム分割、変数間の拘束条件の記述、システムの物理構造と論理構造との関係付けなどについて、車椅子制御システムを対象とした仕様記述例を報告する。

1 はじめに

近年、メカトロニクスシステムの開発プロセスの効率化が望まれており、メカ・エレ・ソフト各分野における設計仕様記述にデジタルエンジニアリングを活用する必要性が高まりつつある。しかし、現状の設計仕様記述では①仕様を簡潔に曖昧さなく統一的な方法で記述できない、②機械・電気・ソフト各分野の開発者間でシステムの設計仕様を理解・共有することができない、③分野にまたがった設計変更の影響を明確に仕様に記述できない、の問題がある。

これらの問題を解決するために、OMG (Object Management Group)により近年、SysML(System Modeling Language)[1]が提案されている。SysML はシステムエンジニアリングの仕様記述のために提案された UML2.0[2]を拡張した図的言語であり、メカ・エレ・ソフト各分野の設計仕様記述に応用可能であると思われる。しかし、提案されて間もないため具体的なメカトロニクスシステムの仕様記述に利用された前例はほとんどない[3]。

そこで、本研究では、SysML を用いて、ある企業が実際に設計・開発中である電動車椅子の制御システムの設計仕様記述を試み、SysML のモデリング能力を検討することを目的とする。

2 SysML の概要

SysML はシステムエンジニアリングにおいて作成される仕様記述のためのモデリング言語であり、UML2.0 を拡張したダイアグラム群からなる図的言語である。IBM などの企業が OMG に提案中である。SysML では、モデリングの対象を表 1 に示される様に、主に要求仕様、構造、挙動、設計変数間の拘束条件といった 4 種類の観点で分類し、異なる SysML ダイアグラムで記述する。

SysML によりメカトロニクスシステムの仕様を記述する利点として①仕様記述に必要な要素をグラフィカルに統一的に記述できる、②異なる分野の開発者間でシステムの設計仕様を理解・共有することが容易、③他分野の設計変更が自分分野の設計仕様と与える影響が記述可能であること、④UML と互換性を持つため組み込みソフトウェアシステムの設計仕様として再利用が可能であること、⑤仕様をデジタルデータ(XMI)として保存可能であること、が挙げられる。

3 SysML を用いた電動車椅子の設計仕様記述

3-1 全方向移動車輪電動車椅子の概要

今回、設計仕様の具体例として、ある企業が設計開発中の全方向移動車輪電動車椅子を対象とした。この車椅子は図 1 のように小型ローラーが車輪外周上に配置された全方向移動車輪を 4 本備え、Joystick 操作により、縦・横・回転

表 1 SysML diagram 群の分類

| | | | |
|---------------------|-----------------------------------|---|-------------------------|
| 要求仕様を記述する diagram | 構造を記述する diagram | 挙動を記述する diagram | 設計変数間の拘束条件を記述する diagram |
| Requirement diagram | Class diagram Activity diagram | Use Case diagram Activity diagram State Machine diagram | Parametric diagram |

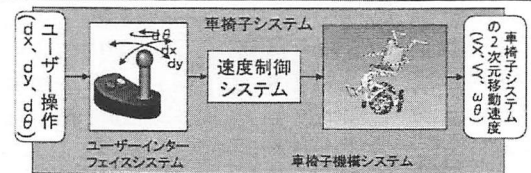
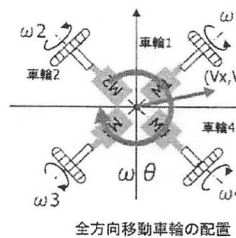


図 1 全方向移動車輪電動車椅子の基本構想

表 2 全方向移動車輪電動車椅子の要求仕様

| 要求の種類 | 要求内容 |
|-------|--|
| 挙動 | ①最高速度 最高速度は6km/h以下でなくてはならない |
| | ②加速性能 最高速度に達するまでの時間は5秒でなくてはならない |
| | ③加速・減速 Joystick操作による車椅子システムの急発進・急停止を防止しなくてはならない |
| | ④方向制御 車椅子システムの運動とJoystickの指示の方向は一致しなくてはならない |
| 構造 | ⑤最大積重 車椅子システムの上に載る最大積重は100kgでなくてはならない |
| | ⑥空室重量 車椅子システム自体の重量はバッテリーも含めて50kgでなくてはならない |
| | ⑦最大寸法 車椅子システムの最大寸法は300×750×1000(mm ³)である |



方向に関する移動を同時に行える電動車椅子である。特に Joystick から与えられる縦・横・回転方向の指示を、4 本の車輪の異なる角速度に速度制御システムにより変換する必要がある。この車椅子の要求仕様全体を、表 2 にまとめる。以下に、この設計仕様を SysML ダイアグラム群により記述した例を示す。また、これらのダイアグラム群は MS-Visio に SysML 専用ステンシルを自作で追加し作成した。

3-2 SysML による仕様記述

記述の手順として、①要求条件の記述、②要求条件からの機能、構成要素、システム挙動の記述、③構成要素間の物理的・論理的接続関係、設計変数とその間の拘束条件、状態遷移モデルの記述、④①～③で書かれたダイアグラムに基づく①の要求条件の詳細化、⑤②③の繰り返し、という手順で行った。

①Requirement diagram: このダイアグラムは図 2 の様に、システムの要求条件を細分化し、階層的な依存関係を記述している。各 requirement の要素には、その要求条件の番号、要求を説明した文章、その要求条件の重大度を記述する。

②Class diagram: このダイアグラムは図 3 の様に、システムを構成するクラスの定義とクラス間の関係を記述する。この例では、車椅子システムは機構システム、速度制御システム、ユーザーインターフェイスシステムからなる。また、ステレオタ

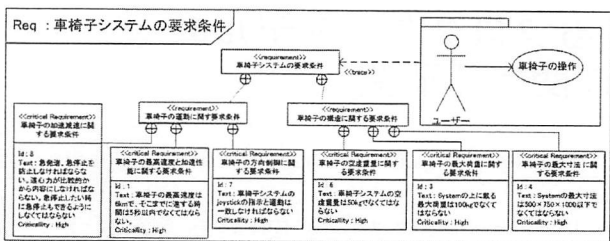


図 2 Requirement diagram の記述例

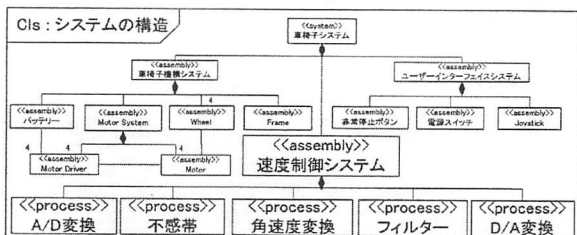


図 3 Class diagram の記述例

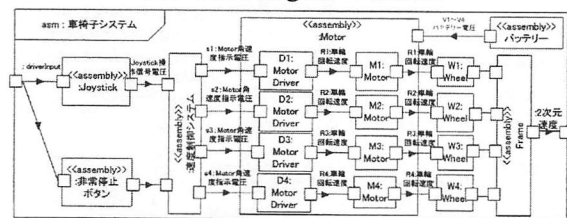


図 4 Assembly diagram の記述例

イブの<<process>>はソフトウェア処理を、<<assembly>>は物理的なサブシステムを示す。

③Assembly diagram: このダイアグラムは図4の様に、システムの機能要素とその間の情報の授受を示す接続関係を表す。各オブジェクトの境界上にある四角で表されたポートと、その間の矢印で表される item flow によりこのオブジェクト間の接続関係が示される。またこのダイアグラムに示される要素は全てインスタンスの形式を用いる。

④Activity diagram: このダイアグラムは図5の様に、システムの挙動を流れとして記述する。角丸の四角は Activity を示し、その間の四角は Activity 間を流れる入力出力情報となるインスタンスを示している。インスタンス上部の<<discrete>>、<<continuous>>はそのインスタンスが連続量であるか離散量であるかを区別したものである。

⑤Parametric diagram: このダイアグラムは図6の様に、設計変数群とそれらの間の束縛条件を関係付ける。例えば、図6(a)の拘束条件式①、②、③は、図6(b)の parametric diagram に対応している。ステレオタイプの<<paramConstraint>>は拘束条件式を示し、Class diagram 内で予め設計変数の定義と、図6の①~③の様な拘束条件式の定義がなされている必要がある。拘束条件に port を介して接続する要素は各々設計変数を示し、ある設計変数が変更になった場合、どの設計変数に影響が及ぼされるかがわかる。

3-3 Allocation の記述

設計時に SysML によって記述された仕様中で、異なるダイアグラム上に表現されている要素間の論理構造と物理構造を関係付けたい場合がある。その目的のため SysML では、Allocation という記述が可能である。Allocation では、システムの異なる階層や構造の中の要素間の関連付けが図的に記述できる。図7は図5に示された Activity とそれを実現



図 5 Activity diagram の記述例

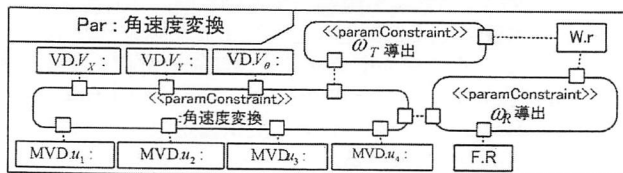
$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_T & -\omega_T & -\omega_T & -\omega_T \\ -\omega_T & -\omega_T & -\omega_T & -\omega_T \\ -\omega_T & \omega_T & -\omega_T & -\omega_T \\ \omega_T & -\omega_T & -\omega_T & -\omega_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_\theta \end{bmatrix} \quad \text{①}$$

u_1 : Motor1の角速度 V_x : X方向の速度
 u_2 : Motor2の角速度 V_y : Y方向の速度
 u_3 : Motor3の角速度 V_θ : θ 方向の速度
 u_4 : Motor4の角速度

$$\omega_R = R/r \dots \text{②}, \quad \omega_T = 1/\sqrt{2}r \dots \text{③}$$

R : 車輪半径
 r : 車椅子中心から車輪までの距離

(a)車椅子の速度制御の設計変数と拘束条件式



(b)(a)に対する Parametric diagram

図 6 Parametric diagram の記述例

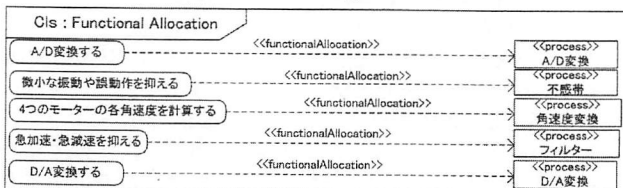


図 7 allocation の使用例

具体的なソフトウェア処理とを関係付ける Allocation を記述した例を示す。

4 まとめ

本研究の結果、SysML を使い、具体的なメカトロニクスシステムの設計仕様が記述可能であることを確認できた。最終的なダイアグラム数は20になった。しかし、現在のツールはダイアグラムの描画専用機能しかないため、異なるダイアグラム間で整合をとりながら入力する作業はユーザーに委ねられている。今後の課題として、このような SysML の記述管理を支援するツールの開発が必要である。

参考文献

[1] System Modeling Language Specification version0.9, OMG (2005) <http://www.omg.org/>

[2] Unified Modeling Language:superstructure version2.0, OMG (2003) <http://www.omg.org/>

[3] Laurent Balmelli , Alan Moore, Requirement modeling for system engineering using SysML , the systems modeling language, Proceedings of DETC'04 ASME 2004 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference , September28 - October 2, 2004, Salt Lake City, Utah, USA