

要旨

動的システムのモデル化手法の一つとして、パワーの流れをグラフ表現したボンドグラフが提案されている。しかし、電気・機械・油圧 CAD 上で機能部品が分散設計されているシステムについて、ボンドグラフを用いて動的解析を行うには、新たにシステムのボンドグラフモデルを作成しなければならない。従って、本研究では CAD システム上のモデルを有効利用するために、機能部品に対して素子レベルボンドグラフの構造が関連づけられているコンポーネントレベルモデリング手法を提案する。

1. はじめに

電気・機械・油圧系が混在するメカトロニクスシステムの動的解析を容易に行うため、ボンドグラフによるモデリング手法が提案されている[1,2]。しかし、システムを構成する機能部品(モータ、ポンプなど)の設計データは、電気・機械・油圧 CAD システム上に分散しているため、これら CAD システム上のモデルを有効利用しボンドグラフモデルを効率的に作成する手法が必要となる。

しかし、CAD システムが保有する機能部品モデルをボンドグラフシミュレーションシステムで利用できる形に変換する際に、次のような問題を生ずる。

- (1) CAD システム上のモデルからボンドグラフ素子へのモデル変換作業を設計者自身が行わなければならない。
- (2) ボンドグラフ構築のために、各機能部品データを複数の系の CAD システムから収集するだけでなく、個々の CAD モデル上には陽に表現されていない、系をまたいだ機能部品間の接続関係までも設計者が認識する必要がある。
- (3) 機能部品のもつ設計仕様値と、ボンドグラフ素子パラメータ値には一対一の対応関係がないものが多い。

そこで本研究では、機能部品に対して素子レベルボンドグラフの構造が関連づけられているコンポーネントレベルモデリング手法を提案し、メカトロニクスシステムの動的解析において、機能部品レベルモデルからボンドグラフモデルへのモデル変換を効率化することを目的とする。

2. ボンドグラフ

ボンドグラフは、素子間のパワーの流れに着目したシステムのモデル化手法の一つであり、システムが電気・機械・油圧系から構成されていても、唯一の手法でシステムをグラフ表現できる利点がある。表 1 に代表的な素子のボンドグラフとその特性則、保存則を示す。一つのボンドには、力に相当するエフォート変数 (e) と速度に相当するフロー変数 (f) とが対応し、その積はボンドを伝わるパワーを表す。本研究では表 1 の素子により表されるモデルを素子レベルボンドグラフモデルと呼ぶ。

3. コンポーネントレベルモデル

図 1 は油圧ロボットシステムのコンポーネントレベルモデル例である。電気・機械・油圧系の3つの系内に存在する、モータ、ポンプなどの各機能部品間をボンドで接続したモデルをコンポーネントレベルモデルと呼ぶ。コンポーネントレベルモデルは、ボンドグラフシミュレーションシ

ステムと CAD システムの中間オブジェクトとして存在している。

表1 代表的な素子のボンドグラフとその特性則、保存則

素子	ボンドグラフ	特性則, 保存則	素子	ボンドグラフ	特性則, 保存則
R_素子	$\frac{e}{f} \nearrow R$	$e = Rf$	TF_素子	$\frac{e_1}{f_1} \nearrow TF \frac{e_2}{f_2}$	$\begin{cases} e_2 = me_1 \\ f_1 = mf_2 \end{cases}$
C_素子	$\frac{e}{f} \nearrow C$	$e = \frac{1}{C} \int f dt$	0_junction	$\frac{e_1}{f_1} \nearrow 0 \frac{e_2}{f_2} \searrow \frac{e_3}{f_3}$	$\sum_i f_i = 0$
I_素子	$\frac{e}{f} \nearrow I$	$f = \frac{1}{I} \int e dt$	1_junction	$\frac{e_1}{f_1} \nearrow 1 \frac{e_2}{f_2} \searrow \frac{e_3}{f_3}$	$\sum_i e_i = 0$
GY_素子	$\frac{e_1}{f_1} \nearrow GY \frac{e_2}{f_2}$	$\begin{cases} e_1 = mf_2 \\ e_2 = mf_1 \end{cases}$			

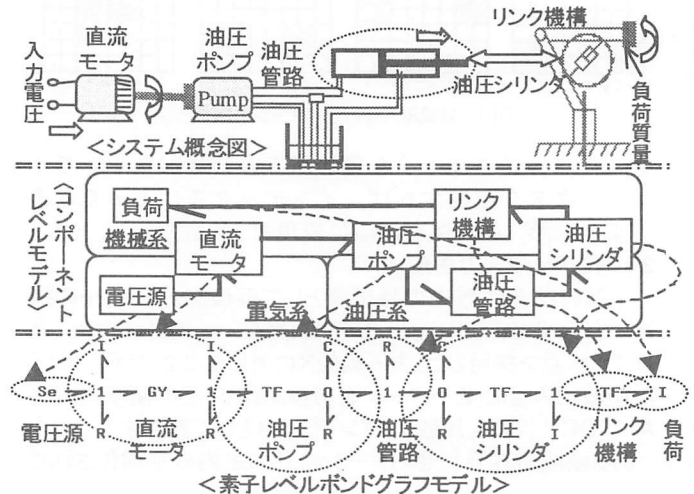


図1 コンポーネントレベルモデルと素子レベルボンドグラフモデル

(2) コンポーネントレベルモデル参照モデル

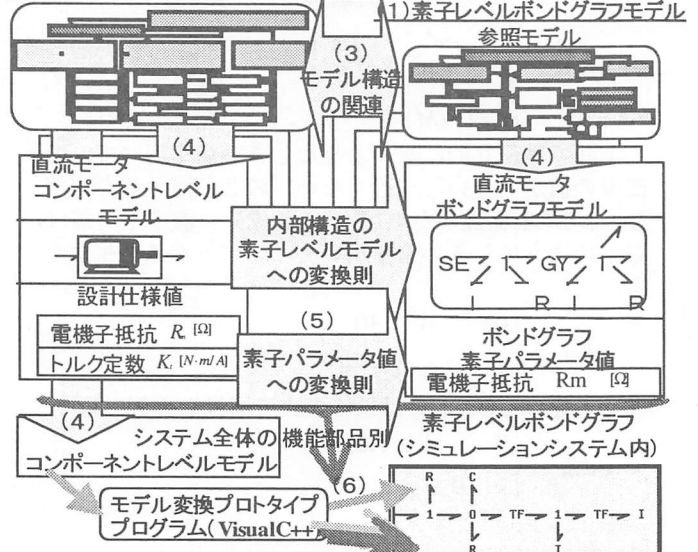


図2 モデル変換の流れ

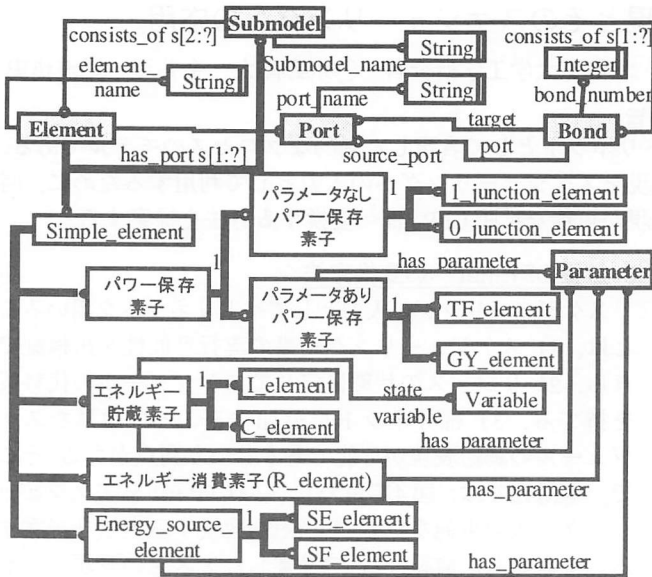


図3 素子レベルボンドグラフモデル参照モデル

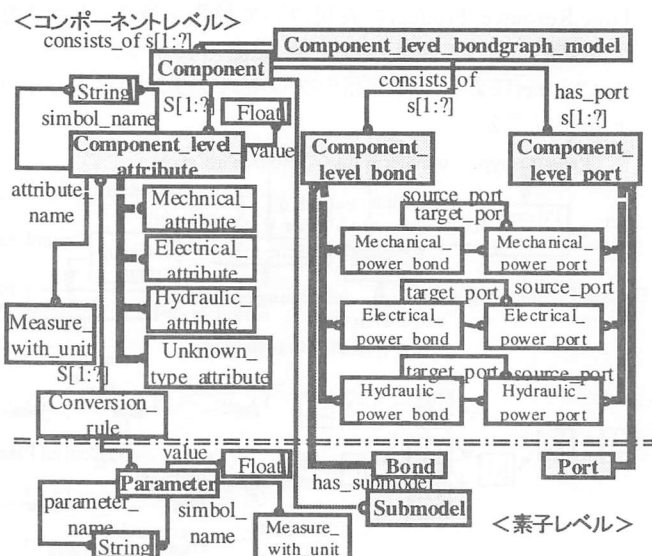


図4 コンポーネントレベルモデル参照モデル

表2 素子パラメータ値への変換則

コンポーネントレベルモデル属性値		変換式	ボンドグラフ素子パラメータ値	
名称と記号	数値 単位		名称と記号	数値 単位
定格回転速度 N_r	3000 [rpm]	$R_m = \frac{60}{2\pi} \times \frac{T_d}{N}$	ロータ 摩擦 R_m	1.0×10^{-4} [$N \cdot m \cdot s / rad$]
モータ軸摩擦トルク T_d	3.1×10^{-2} [$N \cdot m$]			

4. コンポーネントレベルモデルから素子レベルボンドグラフモデルへのモデル変換手法

4.1 モデル変換手法の概要

図2にコンポーネントレベルモデルから素子レベルボンドグラフモデルへのモデル変換の流れを示す。手順は以下のとおりである。

- (1) 素子レベルボンドグラフモデル参照モデルの構造をExpress-Gにより明らかにする。
- (2) コンポーネントレベルモデル参照モデルの構造をExpress-Gにより明らかにする。
- (3) コンポーネントレベルモデルと素子レベルボンドグラフモデルとの構造間の関係を明らかにする。
- (4) (1), (2)の参照モデルより、各具体的機能部品について、

そのコンポーネントレベルモデル及び素子レベルボンドグラフモデルを明らかにする。また、システム全体のコンポーネントレベルモデルの構造を明らかにする。

- (5) 機能部品から、その内部構造の素子レベルモデルへの変換則、機能部品仕様値から素子パラメータ値への変換則を作成する。
- (6) モデル変換プロトタイププログラムの実装を行う。

4.2 素子レベルボンドグラフモデル参照モデルの構造

手順(1)の結果を図3に示す。サブモデルとはボンドグラフ上でグループ化された素子とボンドを表す。素子とボンドはポートを介して接続される。ポートとはエネルギーの出入り口である。ボンドグラフ上では明示しないが、シミュレーションシステムが要求する表現形式においては必要な概念である。また、保存則を表す接点以外の素子は、特性則に対応するパラメータをもつ。

4.3 コンポーネントレベルモデル参照モデルの構造

手順(2)の結果を図4に示す。コンポーネントレベルボンドグラフモデルとは、機能部品間の関係をコンポーネントとコンポーネントレベルボンドで記述したものである。コンポーネントは素子レベルボンドグラフモデルのサブモデルを有し、その内部構造がサブモデルにより記述されている。コンポーネントレベルボンド及びポートは電気・機械・油圧系に分かれているが、これは異なった系のコンポーネント同士の接続ができないことを意味する。

コンポーネントの仕様値である属性値は、各系のCADシステムがもつ仕様値に対応しており、さらにこれから素子パラメータへの変換則を保持している。手順(5)に対応する、直流モータの設計仕様値から素子パラメータ値への変換則の一例を表2に示す。

5. モデル変換プログラムの実装

図1に示した油圧ロボットシステムの具体的コンポーネントレベルモデルのデータから、ボンドグラフシミュレーションシステム(20sim)の要求する素子レベルボンドグラフのファイルを自動生成するVisualC++のプログラムを開発し、負荷質量の時間的変位などの動的解析を行った。これにより提案するモデル変換手法の正当性を確認した。

6. おわりに

本研究では、コンポーネントレベルモデリング手法の提案を行い、コンポーネントレベルモデルから素子レベルボンドグラフモデルへのモデル変換手法を提案し、変換プログラムの実装を行い、その有効性を確認した。

参考文献

- [1] 須田信英：ボンドグラフによるシミュレーション, コロナ社(1996)
- [2] Jeffrey L.Stein and Loucas S.Louca : A Component Based Modeling Approach for System Design: Theory and Implementation, *Simulation Ser.*,27/1(1995)pp.109 - 115.