

仮想プリント基板ユニット製造ラインの構成に用いる装置の e-カタログのための消費電力に関する振舞いモデリング

神奈川工科大学 ○松本壮太, 野山尚明, 須藤康裕, ◎松田三知子

要旨

製造工程の精度の高いシミュレーションを行う場を提供するために、仮想製造ラインの構成に用いる装置の e-カタログの作り方を提案する。本研究では、製造するプリント基板ユニットの種類に対応して変化する各製造装置の電力消費を例題として、各装置の動作時の状態変化をアクティビティ図で表現し、各状態の電力消費の詳細を検討して、シミュレーション実行時に決定する変数も含んだ振舞いモデルを作り e-カタログ化した。

1. はじめに

グリーンプロダクションをサポートする ICT ツールが求められる^{1,2)}。それに対して筆者らは、デジタルエコファクトリを提案している。デジタルエコファクトリは、生産性や製造性に加えて、環境影響などの観点から各製造工程のシミュレーションをする場をユーザに提供するシステムである。シミュレーションの精度を良くするためには、詳細な装置モデルが必要である。本研究では、特に、製造対象により変化する装置の振舞いのモデリング法を示し、装置モデルの e-カタログ化手法を提案する。さらに、これらの e-カタログを利用して消費電力のシミュレーションを行うデジタルエコファクトリが構成できることを示す。

2. デジタルエコファクトリ

2.1. デジタルエコファクトリの構成

デジタルエコファクトリは、マルチエージェントシステムとして構成する。デジタルエコファクトリでは、実際の工場にある装置や、工作物、部品などをソフトウェアエージェントとして実装する。環境影響などを計算する機能は主に、装置エージェントが保持する。装置エージェントは実際の工場の装置をモデル化して生成する。製造対象により装置の動き、すなわち振舞いは変化する。動き方により装置が消費する電力も変化する。内部モデルとして装置自身の属性だけでなく、製品情報やスケジュール情報が影響を及ぼす属性をもっている必要がある。

2.2. 仮想プリント基板製造ライン

本研究では、ケーススタディとしてプリント基板ユニット製造ラインを対象とした。図 1 に仮想プリント基板ユニット製造ラインの構成を示す。この仮想製造ラインは、はんだ印刷機、マウンタ、リフロー炉、パフファ、外観検査機などの装置エージェントで構成する。本研究では、はんだ印刷機、マウンタ、リフロー炉の 3 つを対象としてモデリングを行い e-カタログを作る。各装置の e-カタログからソフトウェアエージェントを生成する。

3. 装置の e-カタログ化

3.1. 装置の消費電力に関する振舞いのモデル

装置の振舞いを、UML のアクティビティ図を用いて状態の遷移として表現した。作成したアクティビティ図から、各状態における動作時間と消費電力の計算式を作成した。表 1 に、はんだ印刷機の各状態に対応する、動作時間と消費電力の計算式を示す。計算式にはシミュレーションの実行時に与える値を含む必要がある。表中の p や o という頭がついているものは、シミュレーションの実行時に与えるデータであり、p は製造対象の製品に関するデータ (product data) を、o は製造作業に関するデータ (operation data) の頭文字である。これらのデータに、シミュレーションの実行時に値を代入することで、製造対象の変化に対応する。

3.2. 振舞い記述をもつ装置モデルの構成

e-カタログから機械的にソフトウェアエージェントを作成するために、装置モデルにデータ構造をもたせた。図 2 にはんだ印刷機モデルのデータ構造を示す。データ構造は大きく基本機械情報記述と状態遷移による振舞い記述に分けられる。基本機械情報記述には装置固有の値を記述し、プログラムでは変数宣言などに対応する。振舞いは取り得る状態ごとに記述する。各状態に状態番号と次に遷移する状態の情報を持たせることで、ある状態がどの状態へ順番に遷移できるかを表現している。

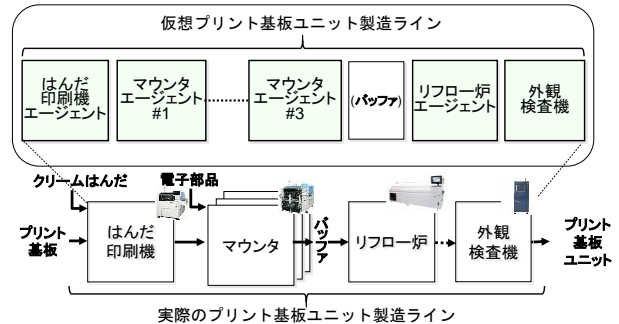


図 1 仮想プリント基板ユニット製造ラインの構成

表 1 はんだ印刷機の各状態での動作時間と消費電力の計算式

| 状態名 | 動作時間[s] | 消費電力[kWh] |
|-----------|-------------------------------|--------------------------|
| 立上 | 動作時間(立上) | 動作時間(立上) * 制御機器 |
| 待機 | 動作時間(待機) | 動作時間(待機) * 制御機器 |
| 型番確認 | 動作時間(型番確認) | 0 |
| メタルマスク交換 | 動作時間(メタルマスク交換) | 動作時間(メタルマスク交換) * 制御機器 |
| 基板セット | (基板搬送路長 - p. 基板幅) / p. 基板搬送速度 | 動作時間(基板セット) * 稼働電力 |
| メタルマスクセット | 基板・マスク間高さ / o. マスク昇降速度 | 動作時間(メタルマスク交換) * 稼働電力 |
| スキージ動作・印刷 | スキージ移動幅 / o. スキージ印刷速度 | 動作時間(スキージ動作・印刷) * 稼働電力 |
| メタルマスク解除 | 基板・マスク間高さ / o. マスク昇降速度 | 動作時間(メタルマスク解除) * 稼働電力 |
| 基板排出 | (基板搬送路長 - p. 基板幅) / p. 基板搬送速度 | 動作時間(基板排出) * 稼働電力 |
| 立下 | 動作時間(立下) | 0 |
| クリーニング | 動作時間(クリーニング) | 動作時間(クリーニング) * クリーニングモータ |

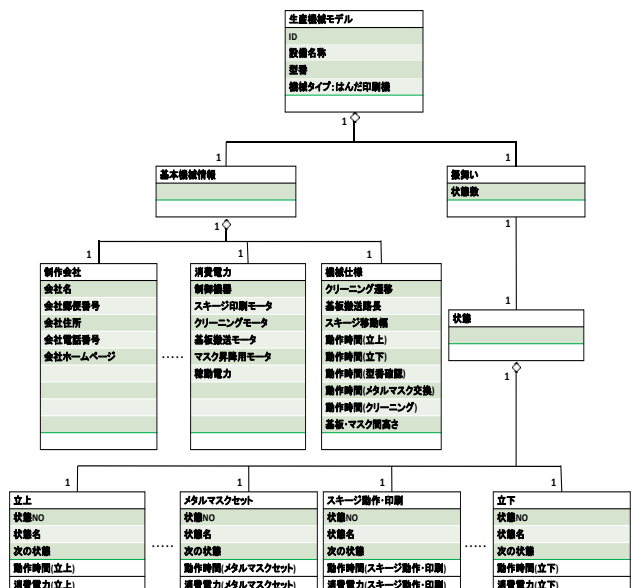


図 2 はんだ印刷機モデルのデータ構造

3.3. テンプレートからのe-カタログの生成

3.2で述べた装置モデルのデータ構造をJSON (JavaScript Object Notation)で記述し、装置テンプレート(実際の値が入っていない雛形)を作る。このテンプレートは機械種ごとに用意しておく。このテンプレートに具体的な数値を埋め込んで、装置メーカーの提供する機種ごとのモデルを作る。このモデルのことを装置のe-カタログと呼ぶ。様々な装置のe-カタログを納めたリポジトリをライブラリと呼ぶ。デジタルエコファクトリを利用するとき、装置エージェントを生成するために使用する。図3に、はんだ印刷機の振舞い:基板セットのe-カタログ中の記述例を示す。

図4に示すテンプレートからのe-カタログ作成システムを利用して、様々なメーカーのはんだ印刷機、マウンタ、リフロー炉ごとのe-カタログを作成し、実験に用いた。作成したはんだ印刷機のe-カタログの例を図5に示す。

4. 装置e-カタログの利用

装置のe-カタログを利用して、デジタルエコファクトリを構成する。図6に、e-カタログライブラリから仮想製造ラインを構成

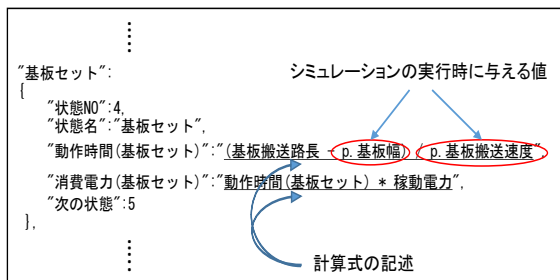


図3 はんだ印刷機の振舞い:基板セットのe-カタログ中の記述例

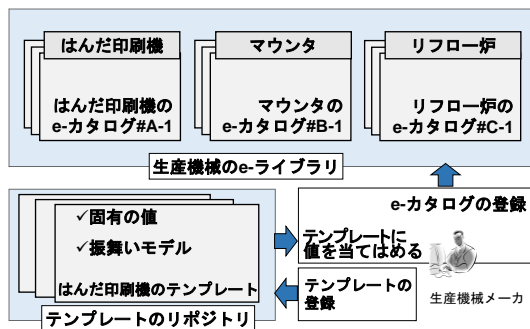


図4 テンプレートを利用した装置モデルのe-カタログ化

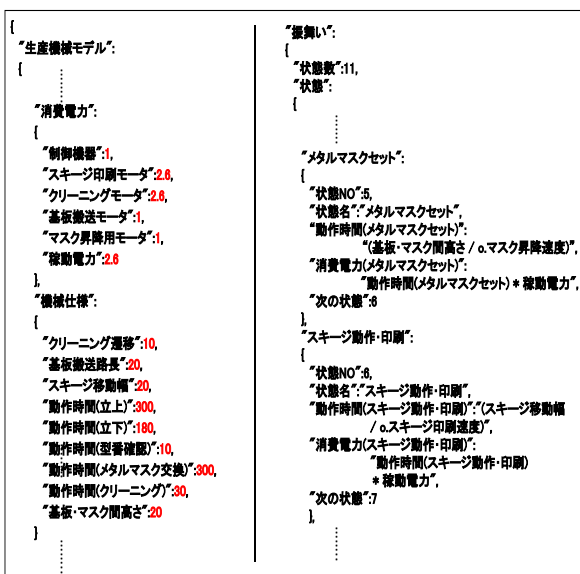


図5 はんだ印刷機のe-カタログの例

する装置を選び、プリント基板ユニット製造ライン向けデジタルエコファクトリを構成するシステムの構成図を示す。デジタルエコファクトリを構成時に、製品データ、製造作業データ、スケジュールデータを入力し、シミュレーション環境を整える。シミュレーションを実行して得られた消費電力のグラフ例を図7に示す。製品データ、製造作業データ、スケジュールデータを変えて、様々な状況をシミュレーションで実行できる。

5. おわりに

本研究では、仮想プリント基板ユニット製造ラインの構成に用いるはんだ印刷機、マウンタ、リフロー炉の消費電力に関する振舞いをモデリングし、それぞれ装置テンプレートとして実装した。このテンプレートを利用して装置モデルをe-カタログ化し、装置のe-カタログライブラリを構成した。ここで、振舞いは、その装置のとりうる状態と状態遷移条件により記述できる。これに、各装置固有の仕様データ記述を加えて、e-カタログとする。e-カタログから装置エージェントを自動生成して構成した仮想製造ラインを構成し、シミュレーションを実行して、有用性を示した。

参考文献

- 1) Matsuda M., Kimura F. Usage of a digital eco-factory for sustainable manufacturing, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Elsevier, 2015, vol.9, p.97-106
- 2) Matsuda M., Sudo Y., Kimura F. A multi-agent based construction of the digital eco-factory for a printed-circuit assembly line, Procedia CIRP 48th Conference on Manufacturing Systems, Elsevier, 2015.

デジタルエコファクトリ の利用者

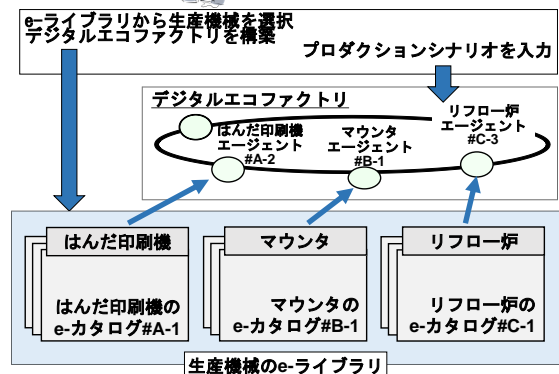


図6 装置のe-カタログを利用した仮想プリント基板ユニット製造ラインの構成

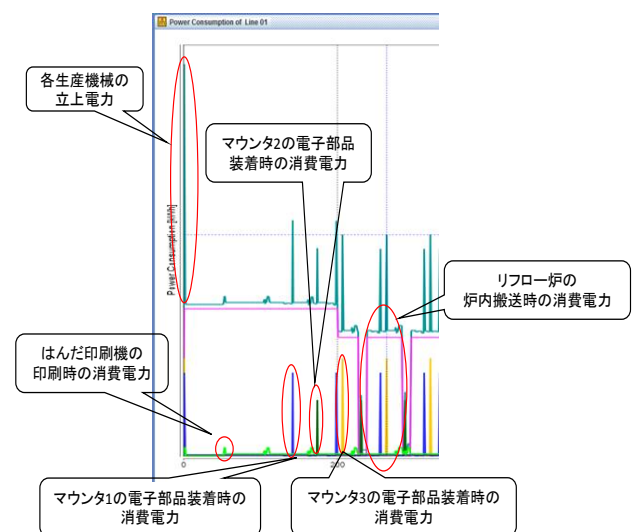


図7 仮想生産における消費電力のグラフ