

## 大規模システム製品へのモジュラーデザインの適用とコンフィグレーターの構築

Modular Design Method and Configurator to Improve Efficiency of Development of Large-Scale ETO Systems

西田 俊介 NISHIDA Shunsuke 松下 博史 MATSUSHITA Hiroshi 竹井 義博 TAKEI Yoshihiro 高垣 誠司 TAKAGAKI Seiji

受注設計型の製品開発において、顧客満足度、提案スピード、及び品質を向上させるには、あらかじめ準備した互換性のあるモジュールを活用するモジュラーデザインの適用と、モジュールの組み合わせにより顧客要求に合う製品構成と見積もりを自動で作成するコンフィグレーターの導入が効果的である。

東芝グループは、受注設計型の大規模システム向けに、製品仕様の評価指標とDSM (Design Structure Matrix)を用いたモジュラーデザイン手法を確立し、それに対応したコンフィグレーターを開発した。コンフィグレーターは、顧客への提案スピードを重視して禁則を考慮した未確定仕様の自動設定と概略仕様だけで見積もり可能な機能、及びデータを階層構造にして仕様値とモジュールを関連付けるルールのメンテナンスを容易にする機能を備えている。これを起点に、営業、設計、生産、据え付け、及び保守の情報をつなぐことで、業務プロセス全体のリードタイム短縮と品質向上が可能になる。

In the development of engineer-to-order (ETO) products, the application of a modular design method capable of properly combining interchangeable modules that are prepared in advance, as well as the introduction of a configurator capable of automatically offering product configurations and estimated costs based on the combined modules that respond to customer requirements, are effective means of ensuring customer satisfaction, swiftly delivering proposals, and improving quality.

For large-scale ETO systems, the Toshiba Group has established a modular design method that employs both evaluation indexes for product specifications and a design structure matrix (DSM), and developed a configurator that is compatible with this modular design method. In order to provide customers with appropriate proposals in a timely manner, the configurator is equipped with automatic functions to define undecided specifications taking restriction rules into consideration and to estimate costs from such outline specifications. It is also equipped with a function to facilitate the maintenance of rules between specification values and modules, achieved by arranging related data in a hierarchical structure. This configurator is contributing to the reduction of lead times in overall business operations as well as the improvement of quality as a starting point for the connection of information at all stages of products, from sales and marketing through design and production to maintenance.

### 1. まえがき

受注設計型の製品では、引き合いから見積もりまでの限られた時間の中で、顧客の要望を正確に捉え、迅速に魅力的な提案をすることが重要である。東芝グループは、提案スピードを向上させるため、以前から部品やユニットをモジュールとしてあらかじめ準備しておくモジュール化を推進してきた。モジュール化を進めても、多様な顧客の要望に対応するためには、カスタマイズを必要とする部分が多くなる。モジュールをカスタマイズする範囲が広がるほど個別設計に近づくため、モジュール化による効果を損なう。そのため、提案に至るまでに、営業や、設計、製造の各部門間で、製品保証の仕様検討や、見積書の作成などに要する時間が増加傾向にある。また、一般に、バリエーションが多く複雑な構成の製品では、提案仕様や見積もり精度が担当者の経験に依存する傾向があり、最適な提案ができずに、作業

の後戻りを招くこともある。このため、設計者は既存製品の見積もりや設計に追われて、新製品の開発に時間を割けなくなっている。

これらの課題を解決するため、東芝グループは、以前から適用してきたモジュール化や標準化に代えて、モジュラーデザインとモジュラーデザインに準拠したコンフィグレーターの適用を推進している。モジュラーデザインとは、設計思想を整理し、将来的な製品への活用も想定して準備した少数のモジュールを組み合わせ、多様な製品を設計する手法である。また、コンフィグレーターとは、顧客からの要求を入力すると、自動で適切な製品を構成するシステムを指す。顧客の要望や製品仕様を細分化し、組み合わせ可能なシステム構成数を増やすことができれば、多様なニーズに対して柔軟に応えることが可能となる。しかし、単純に細分化するだけでは個別設計と変わらず、顧客への提案スピードを速めることができない。そこで、細分化する製品仕様の選択

と組み合わせの類型化に基づくモジュラーデザインを適用した。また、多くの事業部や部門が関わる代表的な受注設計型の大規模システムにおいて、組織を越えて思想や仕様の項目を統一し、コンフィグレーターを構築した。その結果、引き合い・見積もりプロセスから製造に至る業務プロセス全体におけるリードタイム短縮と製品品質の向上を実現した。以降、モジュラーデザインと受注設計型の大規模システムに適用したコンフィグレーターについて述べる。

## 2. モジュラーデザインの適用

モジュラーデザインを適用すると、顧客要求に応じてモジュールを組み合わせて、迅速に顧客への提案や製品開発を進めることができる。一例として、ビル施設内で電源供給の役割を担う受変電システムにおいて、モジュールを利用した受配電システムの製品構成のイメージを図1に示す。

2.1節以降では、モジュラーデザインの手法を具現化する要点である、仕様のバリエーション適正化及びモジュール適正化について述べる。

### 2.1 仕様のバリエーション適正化

顧客要求を満足することは、受注する上で特に重要なことである。一方で、顧客ごとに異なる要求を同時に満足するモジュールを準備すると、コストの増大を招き、ひいては価格競争力のない製品になる。特に、大規模システムのように仕様の組み合わせ数が膨大になる製品においては、顧客から見た商品価値を損なわないように配慮しながら、顧客要求を満足する仕様項目のバリエーションを適正化することが重要である。

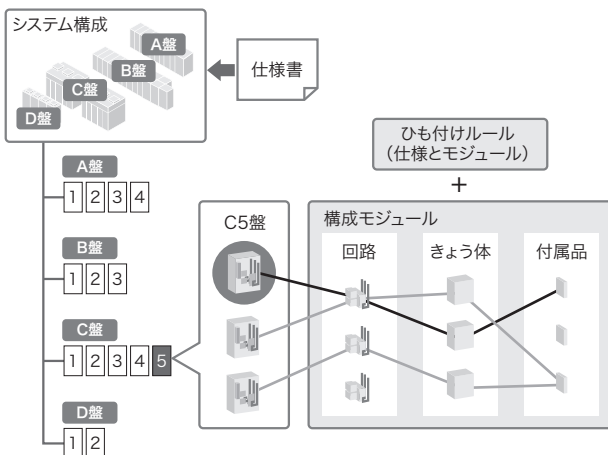


図1. モジュールを利用した製品構成の例

モジュールの組み合わせで製品を構成することで、顧客への提案や製品開発を迅速に進められる。

Example of product configurations combining modules

モジュールの仕様のバリエーション範囲を決める指標として、次の2点が挙げられる。

- (1) 仕様項目の重要度
- (2) 仕様対応の設計自由度

仕様のバリエーションを決める指標として、これらを取り入れる。仕様項目の重要度とは、顧客にとっての重要度のことであり、顧客の購入動機となり得るかの指標である。要求頻度が高い項目や顧客により必須とされる項目は、重要度が高いといえる。次に、仕様対応の設計自由度とは、自社における設計検討の余地を示す指標である。例えば、法規の遵守に必要な仕様項目は設計自由度が低いといえる。

図2に仕様の仕分けイメージを示す。重要度が低いものについては、仕様適正化の候補とする。また、設計自由度が高いものは、顧客要求とのひも付けがない、若しくはひも付けが弱いと見なせるため、同様に、仕様適正化の候補とする。更に、これらに事業戦略を加味し、仕様のバリエーションを適正化する。

### 2.2 モジュール適正化

モジュールが仕様のバリエーションに対応できるようにするためには、まとめる単位への配慮が重要である。まとめる単位が小さいと、製品のバリエーションは増大するが、モジュールや組み合わせ成立性の管理にコストが掛かる。一方、まとめる単位が大きいと、将来、仕様の変化への追従が難しくなる。そこで、機能間の結び付きを評価し、部品やユニットとしてまとめるべきモジュールを抽出する手法として、業務プロセスの適正化で利用するDSMを適用する。DSMを用いて機能間の結び付きを評価するイメージを図3に示す。機能Aから機能Dが必須機能、機能Eから機能Hがオプション機能であり、機能間の結び付きがあることを“×”で表す。結び付きのある機能を集約し、太線で囲んだ

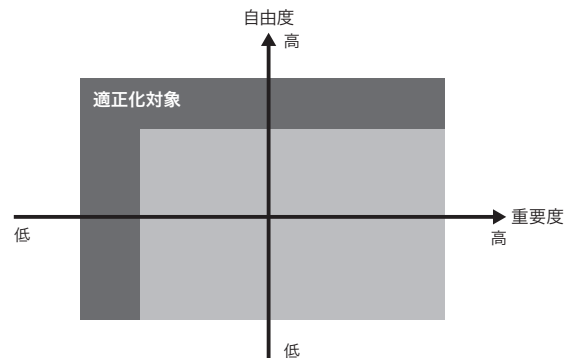


図2. 仕様仕分け時の指標間の関係

重要度と設計自由度の指標を基に仕様を仕分けし、バリエーション適正化につなげる。

Relationships between indexes to classify specifications

| 機能  | 機能A | 機能B | 機能C | 機能D | 機能E | 機能F | 機能G | 機能H |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 機能A |     | ×   |     |     | ×   |     | ×   |     |
| 機能B | ×   |     |     |     | ×   |     | ×   |     |
| 機能C |     |     |     | ×   |     | ×   |     | ×   |
| 機能D |     |     | ×   |     |     | ×   |     | ×   |
| 機能E | ×   | ×   |     |     |     |     | ×   |     |
| 機能F |     |     | ×   | ×   |     |     |     | ×   |
| 機能G | ×   | ×   |     |     | ×   |     |     |     |
| 機能H |     |     | ×   | ×   |     | ×   |     |     |

|     |     | グループ化 |     |     |     |     |     |     |  |
|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 機能  | 機能A | 機能B   | 機能E | 機能G | 機能C | 機能D | 機能F | 機能H |  |
| 機能A |     | ×     | ×   | ×   |     |     |     |     |  |
| 機能B | ×   |       | ×   | ×   |     |     |     |     |  |
| 機能E | ×   | ×     |     | ×   |     |     |     |     |  |
| 機能G | ×   | ×     | ×   |     |     |     |     |     |  |
| 機能C |     |       |     |     |     | ×   | ×   | ×   |  |
| 機能D |     |       |     |     |     | ×   | ×   | ×   |  |
| 機能F |     |       |     |     |     | ×   | ×   | ×   |  |
| 機能H |     |       |     |     |     | ×   | ×   | ×   |  |

図3. DSMを用いた機能単位のグループ化の例

DSMを用いて機能間の結び付きを評価し、モジュール化する機能を決める。  
Example of application of DSM to grouping of functions by module

部分の一つのモジュールとすることで、モジュール同士の独立性を高めることができる。

### 3. コンフィグレーターの構築

2章では、仕様のバリエーションを考慮してモジュールを組み合わせることで製品を構成する、モジュラーデザインについて述べた。

仕様の組み合わせにより生成できる製品の種類は、仕様の項目数を50個、一つの項目が取り得る値を5個とし、全ての組み合わせを取り得ると仮定すると、 $10^{34}$ を大幅に超える。また、受注設計型の大規模システム製品の場合は、顧客の要望や制約に合わせて構成を決定するため、システム規模が標準構成と比べて拡張・縮小する。

例えば、懐中電灯の主な構成要素に、電源、電球、及びスイッチがある。明るさを抑えた電球に交換することで、懐中電灯の使用時間を長くすることができる。このような場合には、構成要素が標準から大きく変わらない。これに対して、電池を並列に接続することで使用時間を長くする場合が、システム製品の拡張に相当する。新たなモジュールの組み合わせが発生し、その成立性を検証する必要もある。このように、成立性を担保しながら、多くのモジュールから適切な組み合わせを抽出するためには、モジュラーデザイン

による設計思想の整理とコンフィグレーターが有効である。

ここでは、新たに開発した、受注設計型の大規模システム向けコンフィグレーターについて述べる。

#### 3.1 コンフィグレーターの概要

今回開発したコンフィグレーターは、仕様値の組み合わせを定義したルールと、仕様値を基に最適なモジュールを選択するルールに基づき、モジュールを組み合わせることでシステムを構成する。不適切な仕様値の組み合わせは、禁則に定義しておくことにより、回避できる。

受注設計型の大規模システム向けコンフィグレーターには、以下の効果が得られる仕組みを導入した。

- (1) 提案スピードを速くする
- (2) ルールのメンテナンスを容易にする

##### 3.1.1 提案スピードを速くする仕組み

顧客の求めているものの一つに、“スピード”がある。受注設計型製品においては、顧客の求める仕様と予算をヒアリングし、条件に合った製品を提案する必要があるが、大規模システムの場合、決定すべき仕様項目が大量にあるため、全ての仕様が確定するまでに時間が掛かる。更に、商談初期においては、顧客の求める仕様が確定していないこともある。

そこで、コンフィグレーターに、概略仕様を入力するだけで、禁則を考慮して未確定仕様を自動で設定する機能、及び入力された概略仕様と自動設定された仕様から価格を見積もる機能を持たせた。これらの機能により、確定している仕様が少ないときに未確定仕様を仮決定すること、及び概算ではあるが金額を算出することが可能になり、顧客への提案スピードを速めることができる。これが、顧客の意思決定を促し、仕様確定までの時間短縮につながる。また、コンフィグレーターの機能により、製品システムのレイアウトを提案の段階で示し、顧客の要望に合わせてレイアウト設計することが可能である。

##### 3.1.2 ルールのメンテナンスを容易にする仕組み

仕様値、モジュール情報、ルールといった、コンフィグレーターが動作するために必要なマスターデータは、多数のデータテーブルで構成される。データテーブルに含まれるデータは、データテーブルをまたいで相互にひも付けされている。そのため、一つのデータを更新するには、ひも付けられた一つ又は複数のデータへの影響を考慮する必要がある。特に、大規模システムのようにデータが多数ある場合は、データ間に存在する全てのひも付けの整合性を維持しながら更新することは困難である。そこで、マスターデータを一元管理し、データ間の依存関係を階層構造にする仕組みを導入した。一元管理することで、データ変更時の影響範囲の把握が容易になる。また、階層構造にすることで、

変更箇所に対して、上層と下層のデータに注目して整合性を検証すればよい。これらにより、データ間に存在する全てのひも付けの整合性を担保しながら、必要な部分だけの更新が可能となる。

また、十分なプログラミングスキルやシステムの複雑な概念の理解が不足していても、ルールメンテナンスができるように、マトリックス形式でルールを定義するシンプルなインターフェースとした。更に、独自のアルゴリズムにより、ルール定義数の削減や自動ルールチェック機能といった、ルールのメンテナンスを容易にする機能を備えた。図4に、ルール定義数を削減する機能の一例を示す。

| 種別   | 仕様項目    | 仕様値      | 組み合わせ |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---------|----------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|      |         |          | ①     | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
| 上層項目 | きょう体幅   | 1,000 mm | ●     | ● | ● |   |   |   |   |   |   |
|      |         | 2,000 mm |       |   |   | ● | ● | ● |   |   |   |
|      |         | 3,000 mm |       |   |   |   |   |   | ● | ● | ● |
|      | 扉の形態    | 右開き      | ●     |   |   | ● |   |   | ● |   |   |
|      |         | 左開き      |       | ● |   |   | ● |   |   | ● |   |
| 両開き  |         |          |       | ● |   |   | ● |   |   | ● |   |
| 下層項目 | 扉ヒンジタイプ | タイプA     | ○     | x |   | ○ | x | x |   |   | x |
|      |         | タイプB     | x     | ○ |   | x | ○ | x |   |   | x |
|      |         | タイプC     | ○     | ○ |   | ○ | ○ | ○ |   |   | ○ |
|      |         | タイプD     | x     | x |   | ○ | ○ | ○ |   |   | ○ |

↑ 上の禁則の影響で、取り得ない上層項目の仕様値の組み合わせ

- ：組み合わせに使用する上層項目の仕様値
- ：上層項目の仕様値の組み合わせにより、選択できる下層項目の仕様値
- x：上層項目の仕様値の組み合わせにより、選択できない下層項目の仕様値

図4. ルール定義数の削減例

禁則を走査し、ルール定義不要箇所をマトリックス上でグレーアウト(画面のボタンや選択部分がグレーで表示され、入力や選択ができない状態)する。

Example of reduction in number of rule definitions

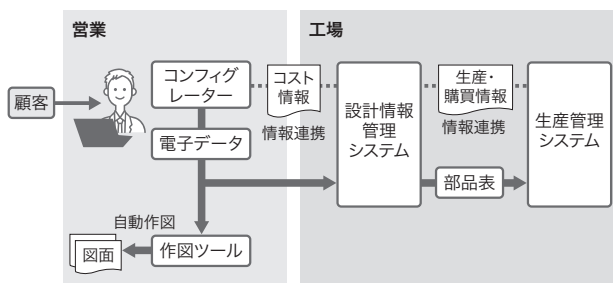


図5. 業務プロセス全体を効率化するシステム構成

コンフィグレーターの出力情報を活用して、作図の自動化や生産工程との連携を図り、業務プロセス全体の効率を向上させる。

Configuration of system to improve efficiency of overall business operations

### 3.2 システムの全体構成とシステム間の連携

設計・生産工程では、図面の作成や部品の手配などが必要となる。仕様や製品構成を早期に準備できれば、業務プロセス全体のリードタイム短縮及び品質の向上を図ることができる。そこで、コンフィグレーターを起点として、図面の自動作図や、営業と生産工程の連携を行うシステムを構築した(図5)。

## 4. あとがき

受注設計型の大規模システムにモジュラーデザインを適用し、それに対応したコンフィグレーターを開発した。受注設計型の製品にとって、コンフィグレーターは、顧客満足度、提案スピード、及び製品品質を向上させるための有益なソリューションである。

東芝グループは、今後も様々な製品に対して、モジュラーデザインとコンフィグレーターを、積極的に適用していく。更に、コンフィグレーターを起点にして、営業、設計、生産、据え付け、及び保守の情報をつなぎ、顧客満足と事業収益の最大化を推進していく。



西田 俊介 NISHIDA Shunsuke  
生産技術センター  
業務プロセス変革推進領域 設計生産システム変革推進部  
Design & Manufacturing Innovation Dept.



松下 博史 MATSUSHITA Hiroshi  
生産技術センター  
業務プロセス変革推進領域 設計生産システム変革推進部  
Design & Manufacturing Innovation Dept.



竹井 義博 TAKEI Yoshihiro  
東芝インフラシステムズ(株)  
社会システム事業部 エネルギーソリューション技術部  
電気設備学会会員  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



高垣 誠司 TAKAGAKI Seiji  
東芝インフラシステムズ(株)  
産業システム事業部 産業システム企画部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.