

スマートマニュファクチャリング特別委員会

## FBMホワイトペーパー

Flexible Business and Manufacturing

JEMA Smart Manufacturing Special Committee WG1

## サマリ版

2020年(令和二年)5月25日発行



一般社団法人日本電機工業会

スマートマニュファクチャリング特別委員会

## 目次

### 序文

1. なぜFBMか？ FBMの背景
2. FBMのコンセプト
3. FBMのステークホルダ
4. FBMモデルの構成要素
5. FBMサービスとは
6. FBMサービスの属性
7. FBMモデルの評価
8. FBMモデルをデザインする
9. 手順とビューのイメージ
10. FBMモデルのより高度な最適化
11. 今後の課題
12. 用語集

### ユースケース

- 1) 基本形：製造委託バリューチェーンのデザイン
- 2) 制御盤製造のバリューチェーン
- 3) BCPに基づくサプライチェーン再構築
- 4) 外部アプリケーションとの連携

### 参考資料

## 序文

我が国の産業政策は、「Society 5.0：超スマート社会を実現し、人々に豊かさをもたらす」ことを目的とし、「Connected Industries：様々なつながりにより新たな付加価値が創出される産業社会」の実現を目指している。これまでJEMAスマートマニュファクチャリング特別委員会が「製造業2030」で提唱した、FBM(Flexible Business and Manufacturing)は、この産業政策目標を実現する手段として、新たな付加価値(バリュー)を創出するためのコンセプトとして位置づけられる。

スマートマニュファクチャリング特別委員会は、このたび、FBMホワイトペーパーを発行した。  
ホワイトペーパーは、ごく簡単な事例を基に、FBMコンセプトの基本を説明することを目的としている。

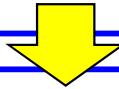
本資料は、FBMホワイトペーパーのサマリである。

各シートの詳細説明は、FBMホワイトペーパー本文を参照されたい。

# 1. なぜFBMか？

2015年当時の動向

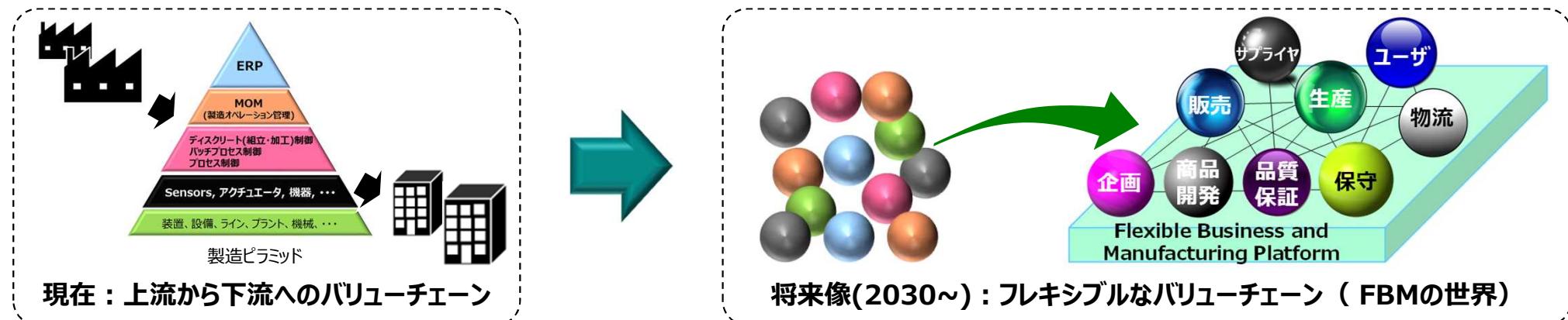
- 国内：内閣府Society5.0に基づき、多くの団体がスマート製造構想に、独自に取組み 将来像を描き、そこからバックキャストする活動は少ない
- 海外：システム思考・システムズエンジニアリングを重要視 「Think systems, not technology」 「Industrie4.0実現戦略」



JEMAスマートマニュファクチャリング特別委員会が描いた将来像(2030年以降)

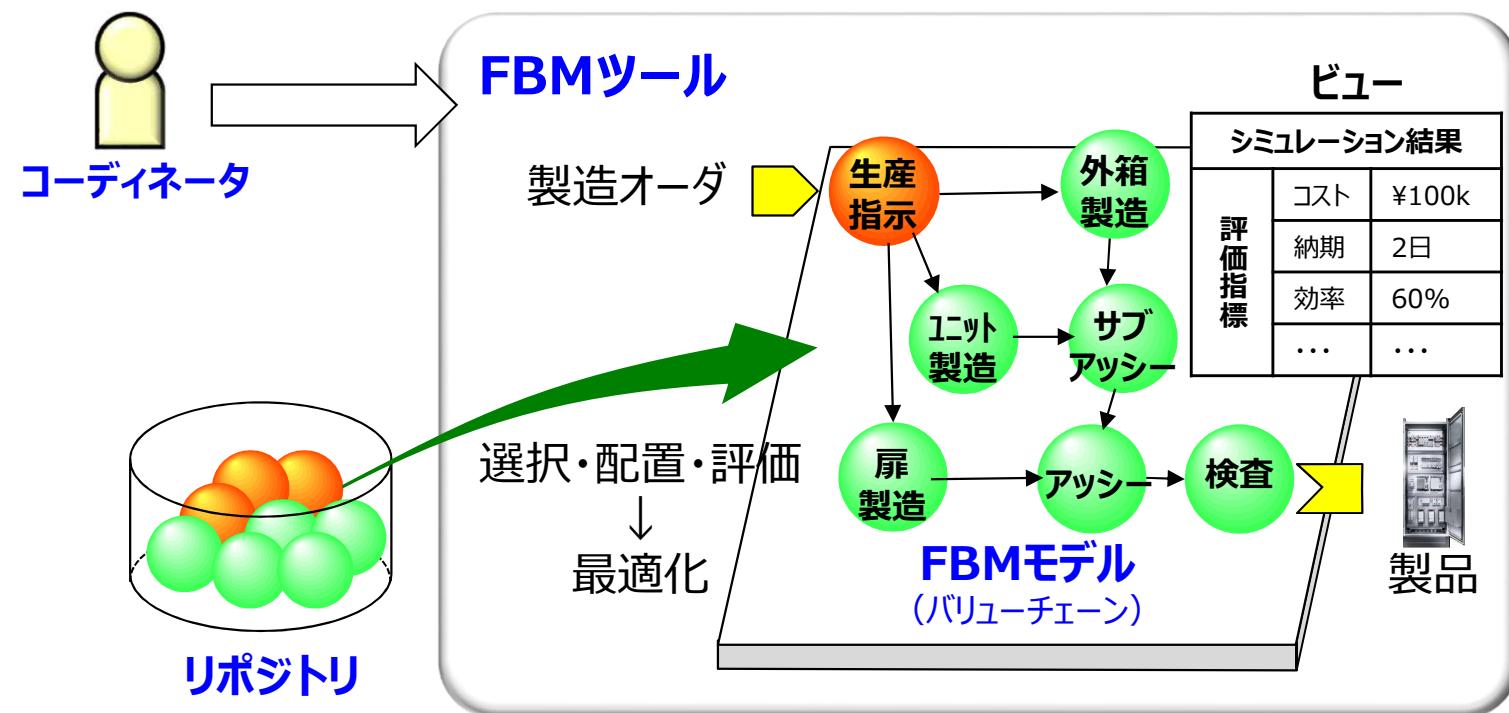
- ◆ あらゆるモノがインターネットにつながり、様々なビジネスプロセスが、今以上により密に結合されている
- ◆ 各企業は、集団利益のために行動を調整し、**ステークホルダに価値を提供**していく
- ◆ 様々なバリューチェーンで、求められる価値・提供される価値が、組織の枠を超えて、リアルタイムに授受されている
- ◆ これらの価値が、極めて短時間で判断・検証され、効率よく実行に移され、**集団利益の最大化**が図られる
- ◆ 集団利益の追及は、ビジネスモデルや製造機能の組合せさえも、**フレキシブルに変化**させる

将来像をバックキャストし、ニーズに応じて柔軟かつ迅速に、バリューチェーンの構築・再構築を可能とするアーキテクチャ **FBM**が提案された



## 2. FBMのコンセプト

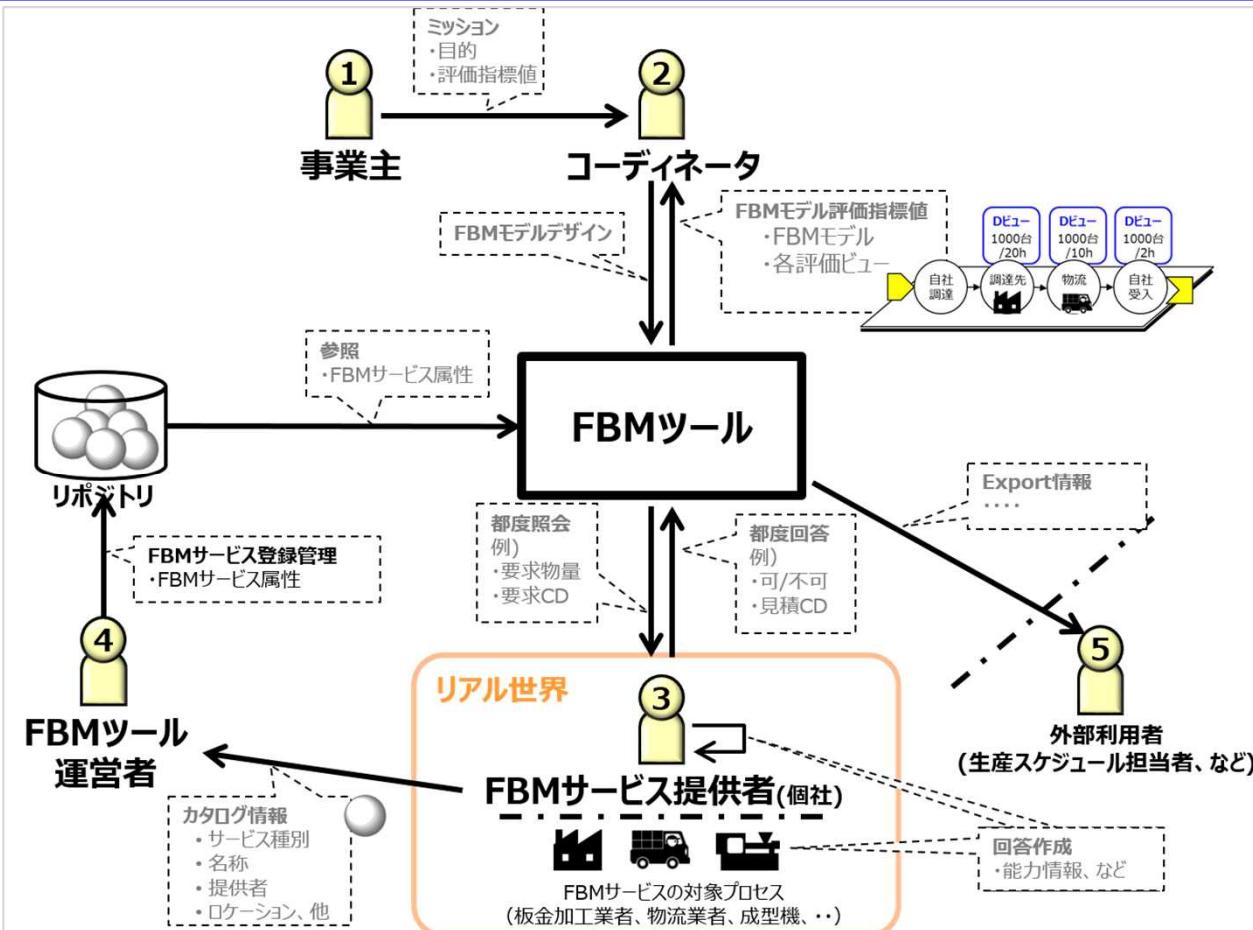
- ◆ FBMは、  
シンプルなモデルを用いて、目的ごとに最適なバリューチェーン(FBMモデル)をデザインするアーキテクチャである
  - 様々な生産プロセスや関連ビジネスのバリューチェーンを、検討の対象とすることができます
  - バリューチェーンの構造を、第三者に分かり易く可視化することができます。
  - 互いの理解を共有することにより、製造とビジネスの在り方について的を射た議論をすることができるようになる
- ◆ 様々なバリューチェーンに適用できる
  - 制御盤の最適設計、製造ラインの生産最適化、から、企業連携(エコシステム)の収益最適化に至るまで
- ◆ モデリング知識は不要で、パソコンなどの簡便でオープンなFBMツールでデザインできる



### 3. FBMのステークホルダ

- ◆ FBMに関するステークホルダ（利害関係者）は、1～5のように定義される

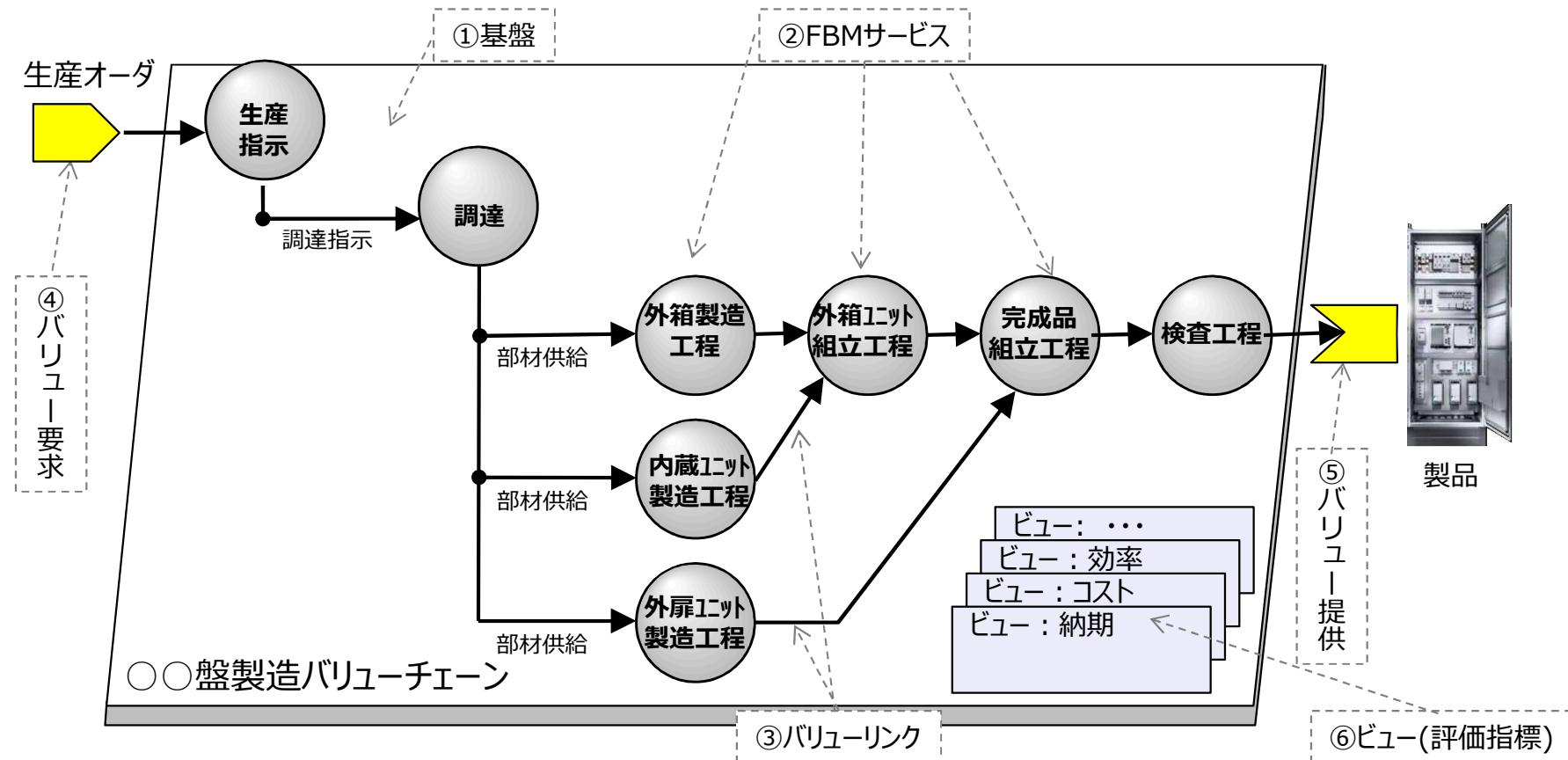
1	事業主	ビジネス、および評価指標値を定義し、コーディネータを選定し、バリューチェーンのデザインを依頼する
2	コーディネータ	FBMツールを用いて、事業主のミッションを満足する注1FBMモデルをフレキシブルにデザインする
3	FBMサービス提供者	FBMサービスを提供する個社（または、自社部門）
4	FBMツール運営者	FBMツールのアップデート、バージョン管理、サービス要素管理などを担うIT企業など
5	外部利用者	MESアプリケーション、生産スケジュール担当者、など



## 4. FBMモデルの構成要素

- ◆ FBMモデルは、原則、球体と矢印で表現され、モデリングの知識がなくとも直観的に理解できる

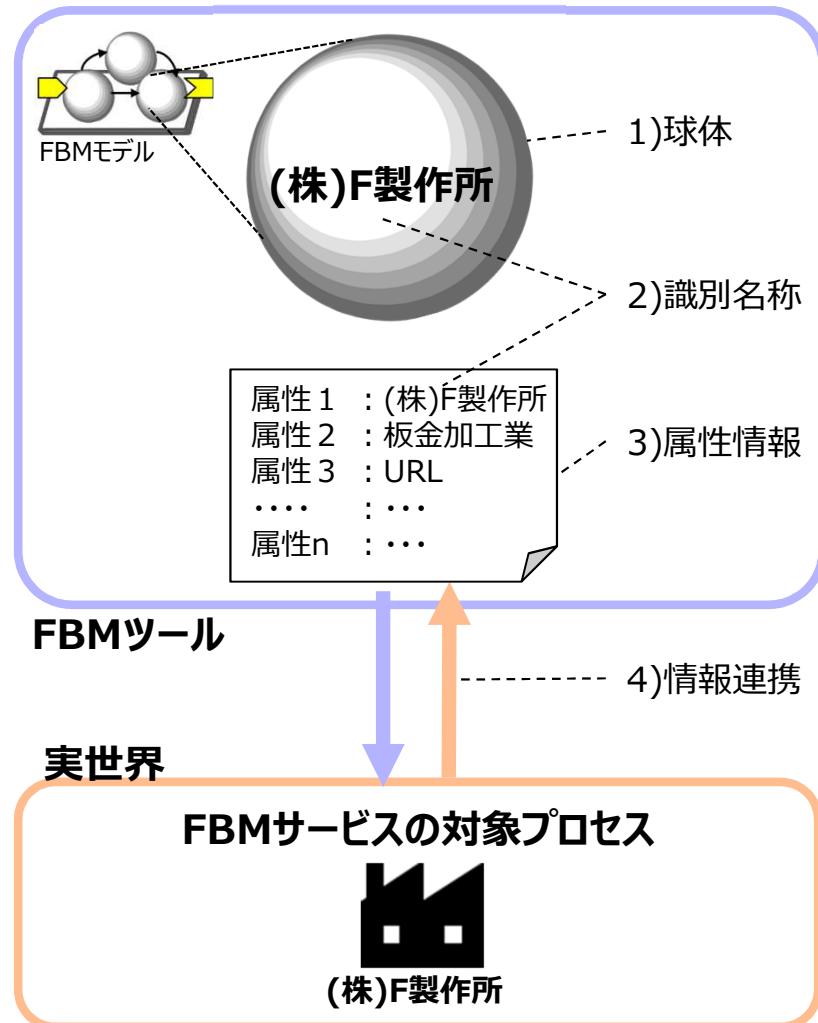
①	基盤	厚板	バリューチェーンの領域を示し、この範囲でFBMモデルがデザイン（構築・評価）される
②	FBMサービス	球体	価値を生み出すプロセスを表す
③	バリューリンク	矢印	価値連鎖の方向を示す
④	バリュー要求	凸型	FBMモデルへの要求（製造オーダなど）
⑤	バリュー提供	凹型	FBMモデルが提供する価値（製品など）
⑥	ビュー	任意	FBMモデルを評価する窓 FBMモデルからツールが自動生成（ユーザ作成も可能）



## 5. FBMサービスとは

- ◆ 様々なバリューチェーンで、価値を生み出すプロセスの「情報」をモデル化したものをFBMサービスとよぶ
- ◆ FBMサービスは、コーディネータに対象プロセスの情報を、シンプルなモデル(球体と属性)で提供する
- ◆ 対象プロセスは、FBMツールからの情報照会<sup>注1</sup>に応える仕組みを持つべきである(情報連携)

<sup>注1</sup> 照会内容：主に評価指標値（納期、コスト、など）



FBMサービスの例

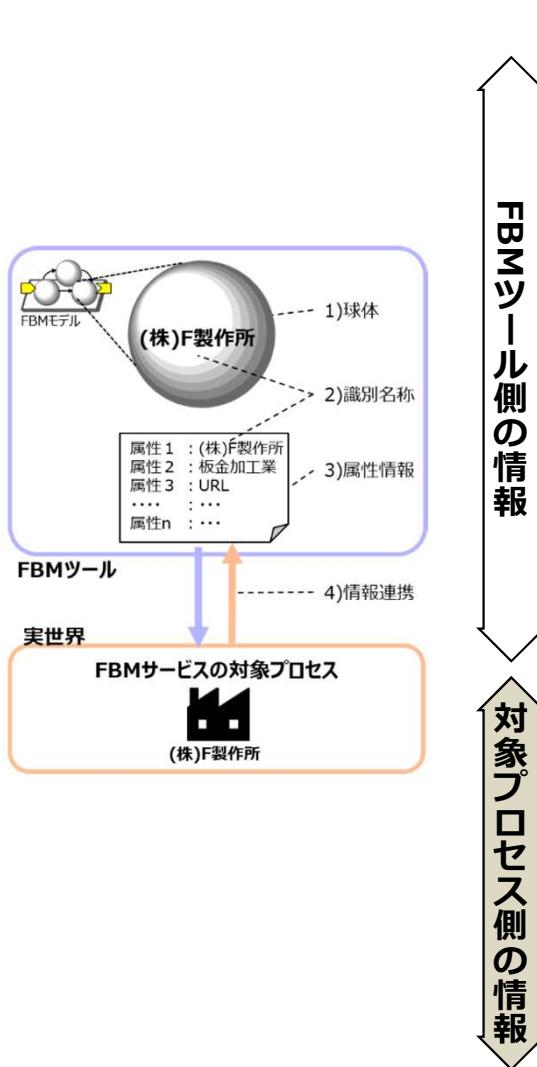
対象プロセス	FBMサービス識別名称	参考：生み出す価値
射出成型機	A社) B工場) 財産番号xxx	樹脂成形品
金属加工業	(株)C製作所) 第一製造部 3係	金属加工製品
調達部門	D社) E工場) 調達部	調達先の選定、など
トラック物流業	F物流(株) トラックyyy号	モノの移動距離
販売業	部品販売業(株)G社 H支店	販売代金、顧客満足度
保守サービス	(有)IサービスJ支店 K班	設備の延命、など

【参考】

FBMサービスは、  
Class/Instanceの関係では、Instanceに相当  
Type/Objectの関係では、Objectに相当

## 6. FBMサービスの属性

- ◆ FBMサービスは、属性を持つ：属性とは、FBMサービスの性質を表す項目と値である
- ◆ コーディネータは、属性を以下の場面で使用する
  - ① FBMサービスの候補を選択する場面 : カタログ情報のサービス種別などを用いて、選択する
  - ② FBMモデルを評価する場面(シミュレーション) : 評価指標値は、原則としてFBMサービス対象プロセスへ直接照会する



属性	説明
<b>属性1：ヘッダ属性</b>	FBMモデルに付与される識別ID、など
①ID情報、他	
<b>属性2：カタログ情報</b>	FBMサービス提供者によるサービス内容の説明情報
①サービス種別	FBMサービスの種別・仕様を示す
②識別名称	FBMサービスのユニークな識別名称 例：メーカー名／機種・メーカー定義の識別情報 ／サービス提供元定義の識別情報（財番など）
③サービス提供元	FBMサービス提供者の名称／所在地／問い合わせ先／…
④ロケーション	FBMサービス対象プロセスの所在場所
④付随情報	サービスや提供元に関する付随情報 ・自己申告：資本金／認証／… ・他者評価：与信／実績評価／…
<b>属性3：照会情報</b>	FBMサービス対象プロセスへ評価指標値（コスト、納期など）を問い合わせる情報
①要求サービス仕様	FBMサービスの詳細 例 * : 種別(板金加工) / 図面 / 板金サイズ / 材質 / 穴径 / …
②要求仕様	物量・コスト・納期、など 例 * : 20個/ロット / 発注後 3営業日以内 / ¥250/個
<b>属性4：サービス能力情報</b>	FBMサービス対象プロセスが保有する能力 (原則、サービス提供元以外は不可視)
①単位能力	照会内容に応じた見積をするための単位あたりの能力情報 例 * 作業単位 / 加工時間 / 段取り時間 / 他
②稼働コスト	サービスを稼働させるために必要なコスト * 消費電力 / 電気代 / 減価償却費 / 他
<b>属性5：回答情報</b>	照会に対して、FBMサービス対象プロセスが回答する評価指標値（コスト、納期など）
①サービス提供の可／不可	
②サービス提供コスト、納期など	例 * : サービス提供に伴う評価指標。コスト、納期、効率、実績、など
③他	

属性については、ユースケースを積み上げ、さらに検討が必要である

①選択

②評価

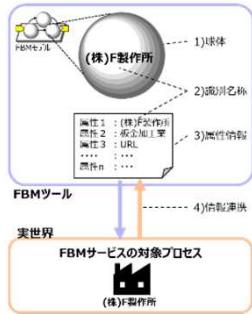
# 7. FBMモデルの評価

## ◆ FBMモデルの評価とは

- ①FBMモデルを構成する個々のFBMサービスに、評価指標を照会する
- ②評価指標を集計し、ミッション値との差異を、コーディネータが判定する

## ◆ 集計方法は、評価指標毎に異なる

### FBMサービス個々の評価指標値

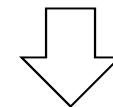


FBMサービス対象プロセスは、**評価指標値の照会**に対し、能力情報を用いて、関数演算を用いることが望ましい

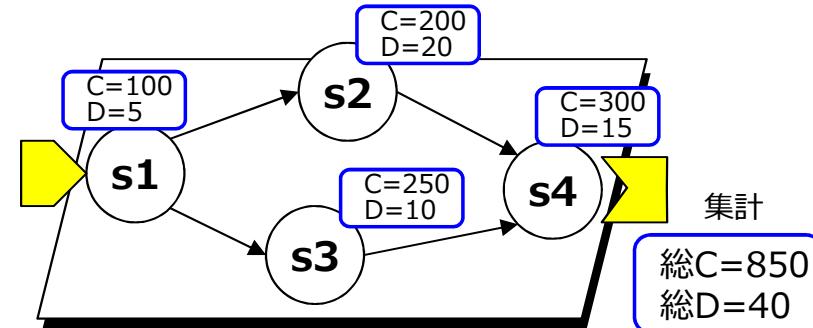
- 関数は、評価指標毎に異なる
- 能力情報は、対象プロセスの責任で逐次更新されること

$$\text{評価指標値} = f(\text{照会情報, サービス能力情報})$$

この関係は、ISO22400の、KPIとエレメントデータの関係と同一



### 評価指標値の集計方法の例



評価指標：総コスト、総納期

$$\text{総コスト} = s1.c + s2.c + s3.c + s4.c$$

$$\text{総納期} = s1.d + \text{Max}(s2.d, s3.d) + s4.d$$

sn.c は、FBMサービスsnのコストを表す

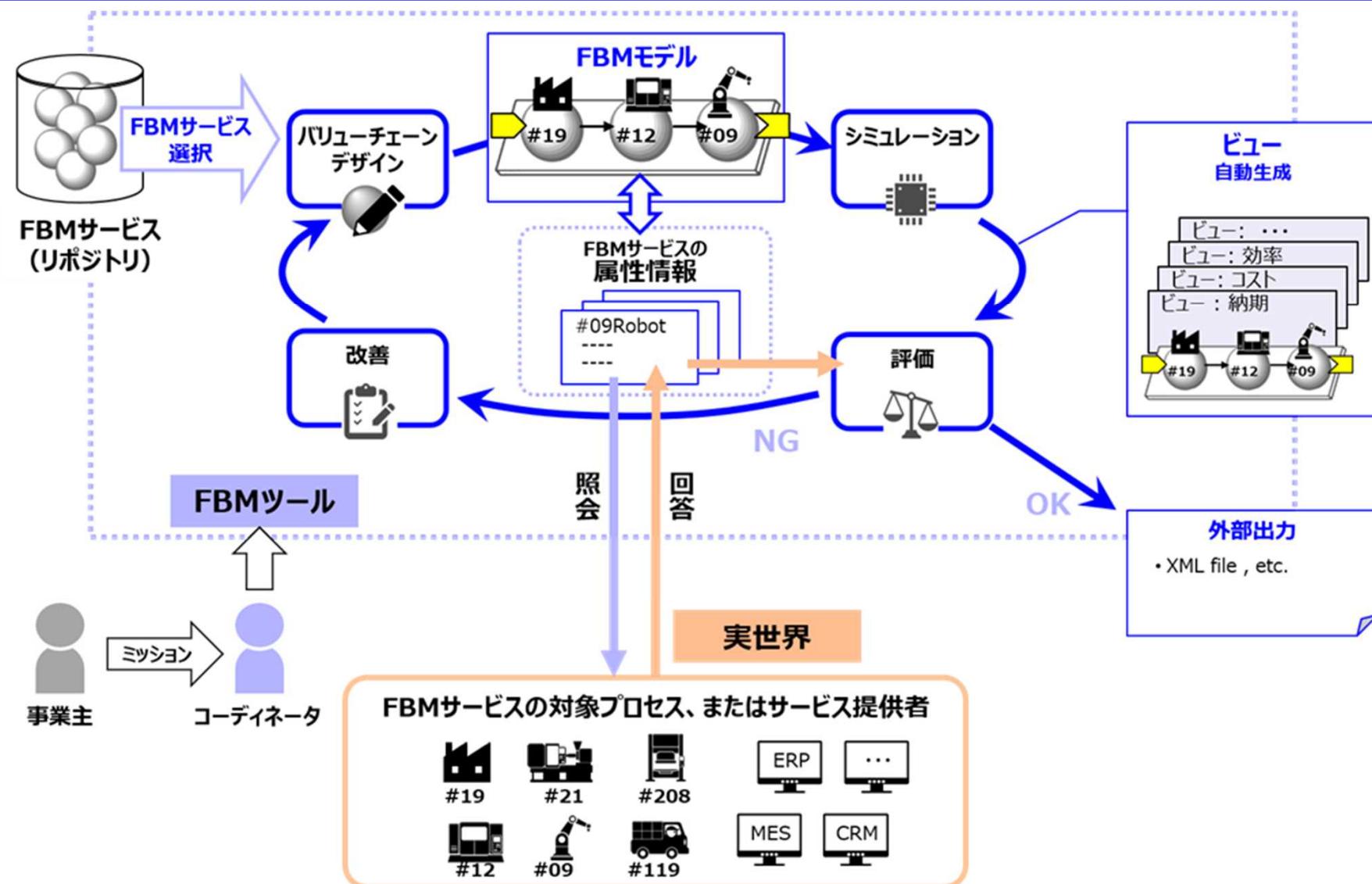
sn.d は、FBMサービスsnの納期を表す

Max(x,y)は、xとyの大きい方を表す

ISO22400	FBM
KPI 総合設備効率、労働生産性、など	評価指標 コスト、納期、効率、など
エレメントデータ 実績稼働時間、実績生産時間、など	能力情報 作業単位時間、加工時間、など
計算例：総合設備稼働率	計算例：納期(リードタイム)
$= \frac{\text{稼働時間}}{\text{負荷時間}} \times \frac{\text{標準時間}}{\text{実際時間}} \times \frac{\text{標準時間} \times \text{投入量}}{\text{実際時間}} \times \frac{\text{良品量}}{\text{投入量}}$	$= (\text{機械加工能力} \times \text{加工点数}) \times \text{物量} + \text{段取り時間}$

## 8. FBMモデルをデザインする

- ◆ コーディネータは、PDCAを回して、事業主のミッションを実現する
- ◆ シミュレーション結果は、個々のFBMサービスの評価指標値が集計され、適切なビューに表示される

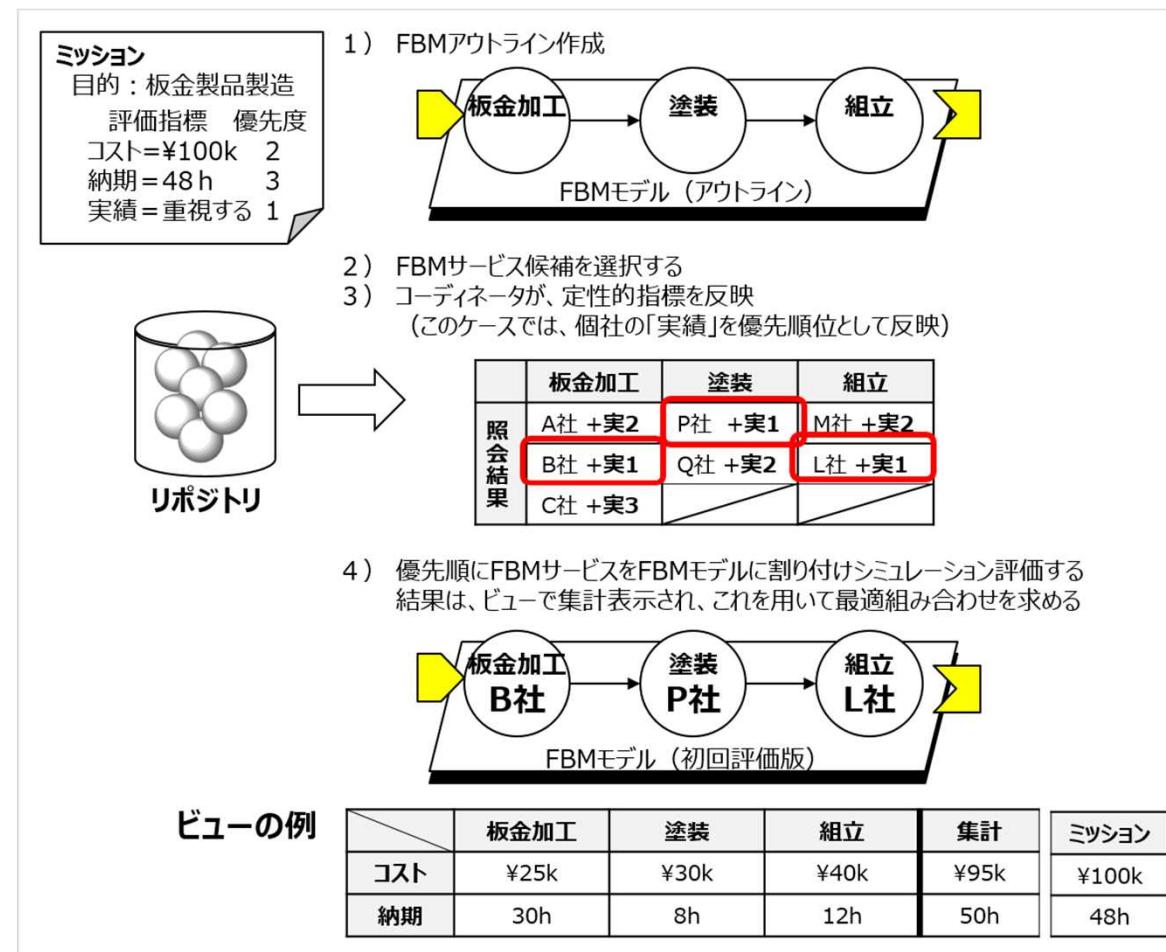


# 9. 手順とビューのイメージ

## ◆ コーディネータのデザイン手順

1. ミッションに基づき、FBMモデルのアウトラインを描く
2. アウトラインのサービス種別を用いて、リポジトリよりFBMサービスの候補を選択
3. 候補の評価順序を決める（定性的指標があれば、ここへ反映する）
4. 評価順序に基づき、シミュレーション評価をする 結果は、ビューに集計表示されるので、ミッション値と比較ができる

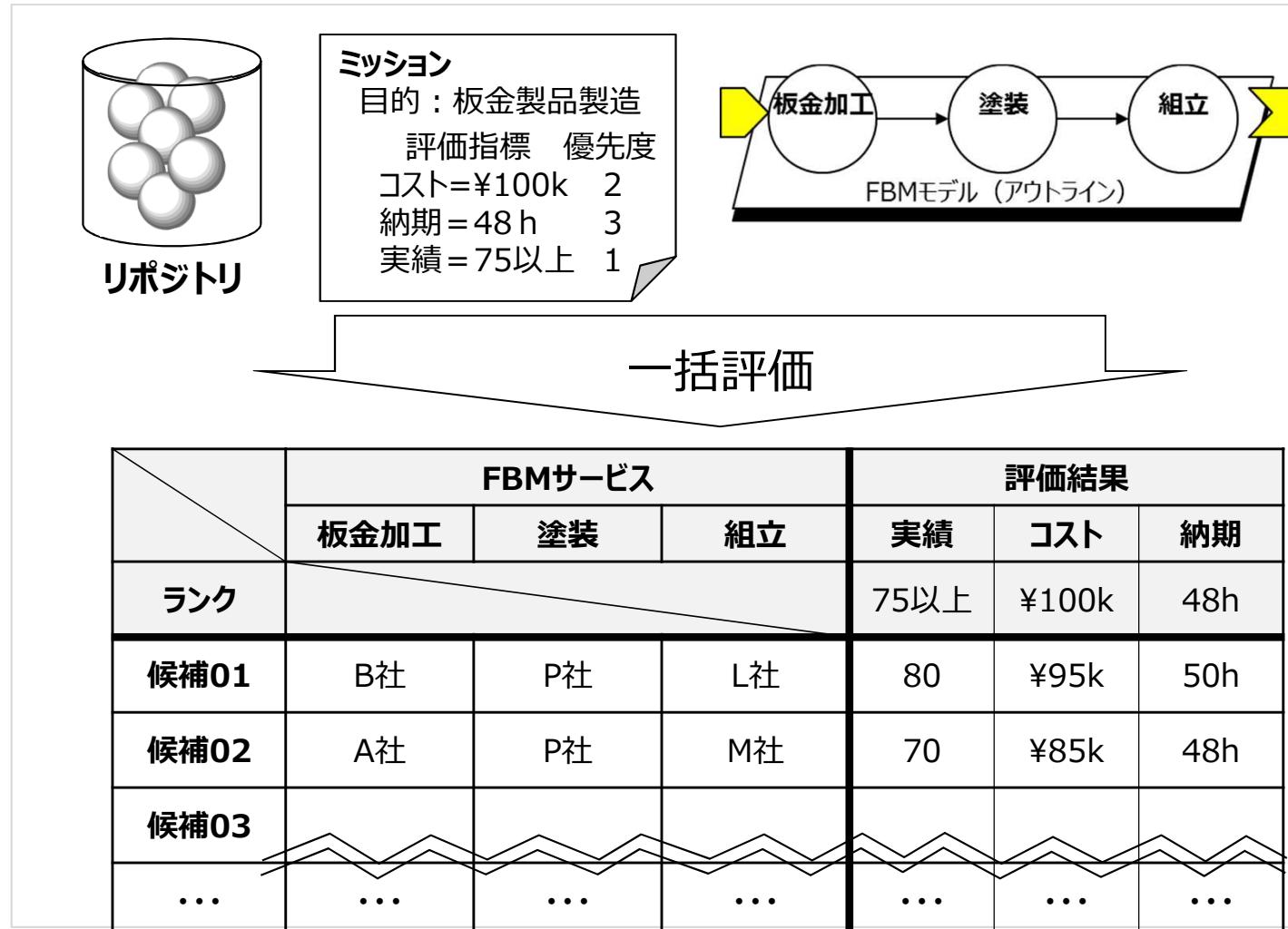
以上を繰り返し、FBMサービスの最適な組み合わせを求める



## 10. FBMモデルの より高度な最適化

◆ 組合せが爆発的に増大した場合、一定の条件が整えば、最適化手法を用いた自動一括評価が可能

1. コーディネータの経験値や定性的なミッションの定量化（形式知化）
2. IoT技術の進化・拡大による、照会／回答プロセス自動化の浸透
3. FBMモデルのネットワーク構造をコンピュータが理解できる情報に翻訳する技術、など



# 11. 今後の課題

## 1. 属性情報と評価指標の拡充

多様なバリューチェーンに対して、FBMが効果を上げていくために、ユースケースを積み上げ、バリューチェーンに応じた、コーディネータの資質、評価指標と、属性情報を定義する必要がある

属性情報は、様々な項目の追加が予想されるので、OPC UA情報モデルのサブタイプ拡張などの適用を検討したい

## 2. 国際標準との連携

FBMを実現、実装するにあたって参考となりそうな国際標準や業界標準が多数存在する。

表に、FBMの構成要素と、連携が期待できる国際標準・業界標準を示す。

FBM構成要素		連携可能な国際標準・業界標準	
FBMサービス属性関連	属性の構造	IEC62541 Plattform Industrie4.0	OPC UA 情報モデル アセット管理シェル
	ID、サービス種別	ISO29002-5	オントロジー
		IEC62360 IEC61987, etc.	辞書(CDD: Common Data Dictionary)
		コンソーシアムeCl@ss	カタログ(eCl@ss)
	照会、能力情報	ISO22400	MES領域のKPI
	対象プロセス連携	EUROMAP	成型機連携
		umati	工作機械連携
		Basys4.0	デバイスインターフェース

## 3. 環境整備

### 1) FBMツール ビューのデザイン検討

FBMモデルをシミュレーションすると、評価指標値が算出される。評価指標値を分かり易くFBMツールのユーザ（コーディネータ）に提示するために、効果的なビジュアルを検討する必要がある。

### 2) FBMツール ユーザビリティ評価

FBMモデルの入力である、バリュー入力から、各々のFBMサービスにどのようにバリュー要求をブレークダウンしていくか、などの各種ユーザビリティの評価にあたり、FBMツールデモシステムを立上げ（アジャイル型が望ましい）、検証を行う必要がある。

### 3) FBMサービスの登録推進

FBMサービスの登録規約を作成し、トライアルをする。

# 12. 用語集

用語	意味	参照
FBMサービス	バリューチーンで、価値を付加するプロセスであるサービスを表すモデル要素。単に「サービス要素」と呼ぶ場合もある。	表4.1、5章
FBMサービス属性	FBMサービスの性質を示す情報とその値	5.3節、表5.3
FBMサービス提供者	FBMサービスを提供する個社（または、自社部門）。 FBMサービスを定義し、カタログ情報を作成し、FBMツール運営者に登録依頼する	表3.1
FBMツール運営者	工業会からFBMツールを運営委託されたIT企業など。 FBMツールのアップデート、バージョン管理、サービス要素管理などを担う	表3.1
FBMモデル	FBMコンセプトに基づき、バリューチーンをモデル化したもの。基盤、FBMサービス、バリューリンク要素から構成される。	図2.2.1、4章
FBMモデルの最適化	事業主が設定した評価指標値を満足させるFBMモデルをコーディネータがデザインすること	6.3節
アウトライン	コーディネータがミッションに基づき、FBMツールを用いて、最初に記述するFBMモデル。まだ特定のFBMサービスが割り付けられていない状態。	図6.3.1
エコシステム	ビジネスエコシステムと同義	
コーディネータ	FBMモデルのデザイナ。FBMツールを用いて、事業主のミッションを満足するFBMモデルをフレキシブルにデザインする。	表3.1
サービス特性	FBMサービスが付加価値を生み出す際の様々な特性	5.2節
サービス要素	FBMサービスと同義	
シミュレーション	FBMツールの機能の一つ。FBMモデルの評価項目を照会・集計し、ビューに変換してユーザ（コーディネータ）に提示する	6.3節
ステークホルダ	FBMモデルの利害と行動に直接・間接的な利害関係を有する者	図3.1、表3.1
バリューチーン	価値を付加するプロセスが、連鎖的に繋がっていること。価値連鎖。	
バリューチーンの最適化	FBMモデルの最適化と同義	6.3節
バリューリンク	バリューチーンで、連鎖の方向を示すモデル要素。一方向又は双方向矢印で示す。	表4.1
バリュー提供	バリュー要求に対応した価値の提供。（製造バリューチーンの場合は、製品など）	表4.1
バリュー要求	バリューチーンに対する要求。（製造バリューチーンの場合は、生産オーダーなど）	表4.1
ビジネスエコシステム	ビジネスエコシステムとは、ビジネスの「生態系」であり、企業や顧客をはじめとする多数の要素が集結し、分業と協業による共存共栄の関係を指す。ある要素が直接他の要素の影響を受けるだけではなく、他の要素の間の相互作用からも影響を受ける	総務省HP
ビュー	FBMツールの表示機能の一つ。FBMモデルの評価指標値を、評価指標毎に分かりやすくユーザに見せる。FBMツールが標準装備するものと、ユーザが任意に作成できるものがある。	附属書B
ミッション	事業主がコーディネータに指示する情報（FBMモデルの目的、評価指標とその値、優先順位、など）	6.2節
リポジトリ	登録されたFBMサービスが格納されている場所。FBMツール運営者によって管理される	
基盤	バリューチーン（ビジネス）の領域を示す要素。基盤上にサービス要素やバリューリンクが配置され、この範囲でビジネスのモデル化、評価が行われる。	表4.1
事業主	ビジネスの創出、ビジネスが良好かどうかを評価する役割を持ち、コーディネータを選定し、バリューチーン（FBMモデル）のデザインを依頼する。	表3.1
照会	FBMモデルのシミュレーションの際に、FBMサービスの対象プロセスへ評価指標値を問い合わせること。	5.3節、5.4節
製造バリューチーン	生産システムにおけるバリューチーン。本書では生産オーダーから製品完成までを指す。	
属性	FBMサービス属性と同義	
対象となるプロセス	FBMサービスによってモデル化されたプロセスの実体。（機械、設備、ワークセル、工程、部門、工場、企業、…）	図5.1
対象プロセス連携	FBMサービスの属性値に、対象プロセスの現在情報などを取り込むこと	図5.1
評価指標	FBMサービスが付加価値を生み出す際の様々な特性（サービス特性）を量量化したもの（コスト、納期、効率、エネルギー消費、…）	5.2節、5.4節

「参照」は、FBMホワイトペーパーの関連部分を示す

# ユースケース01 基本形：製造委託バリューチェーンのデザイン

本ケースでは、製造委託を例にして、最も基本的なFBMモデル作成手順を説明する

## ミッション

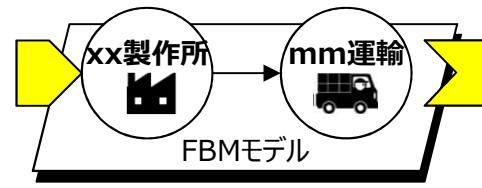
目的：板金製品製造、物量=50ロット(20個/ロット)  
 評価指標 優先度  
 総コスト=¥900k 1 (単価:¥820, 運送コスト¥80k)  
 総納期=発注後5日 1

### ① アウトライン作成



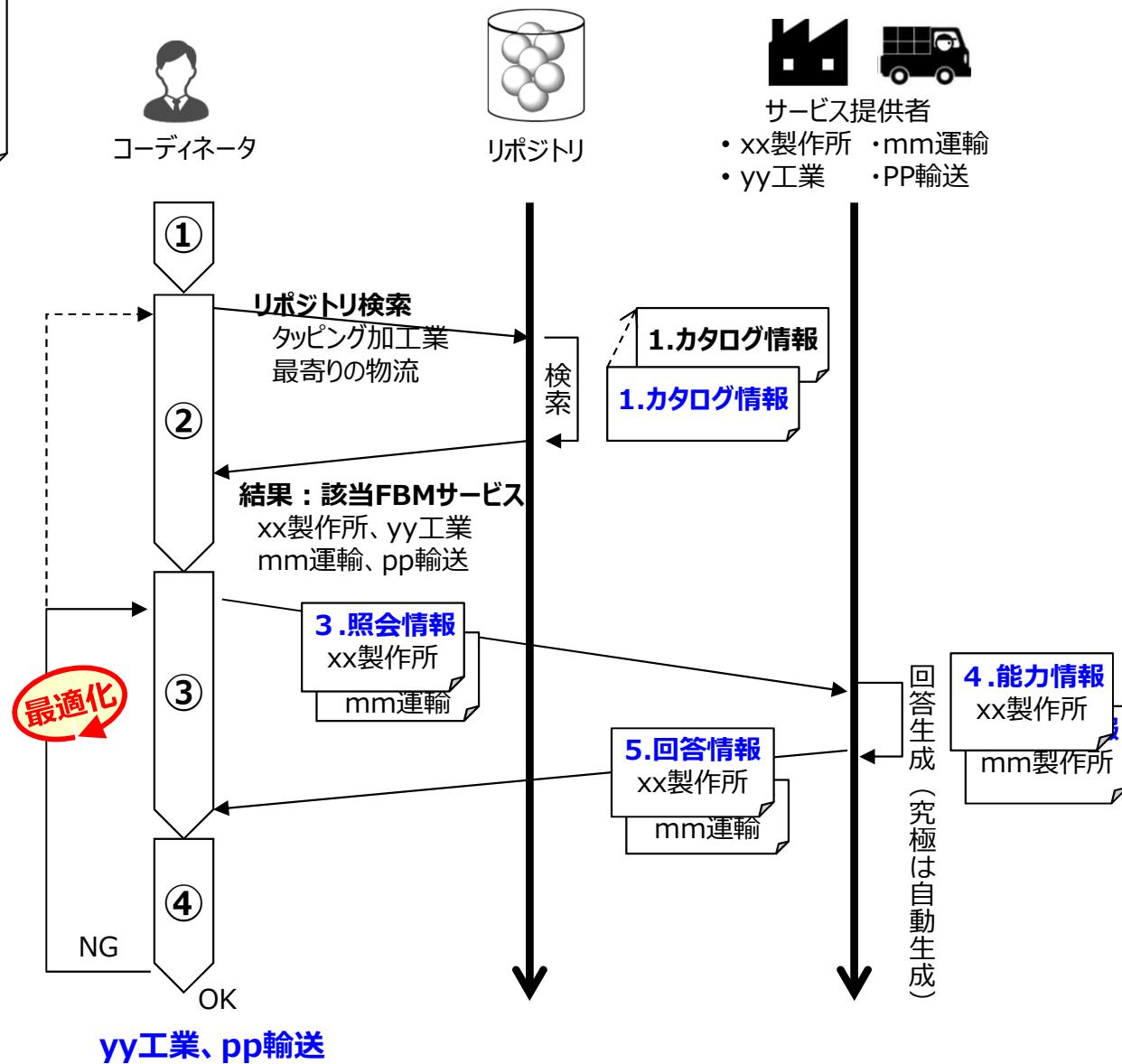
### ② FBMサービス候補を検索

### ③ 候補を順次①のモデルに割り付け シミュレーション評価



### ④ ビューで全体評価し、 ミッションを満足するまで、③④を繰り返す

ビューアのイメージ	板金加工	物流	集計	ミッション
FBMサービス	xx製作所	mm運輸		
コスト	¥900k	¥70k	¥970k	¥900k
納期	3日	2日	5日	5日



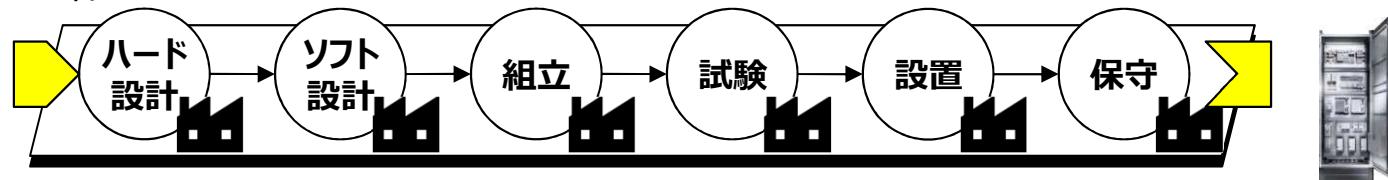
# ユースケース02 制御盤製造のバリューチェーン

制御盤2030で提案された、近未来におけるグローバルな制御盤ビジネスでは、高度なモジュール化による標準化、水平分業が進み、多くのFBMサービス（個社）が登録されている。

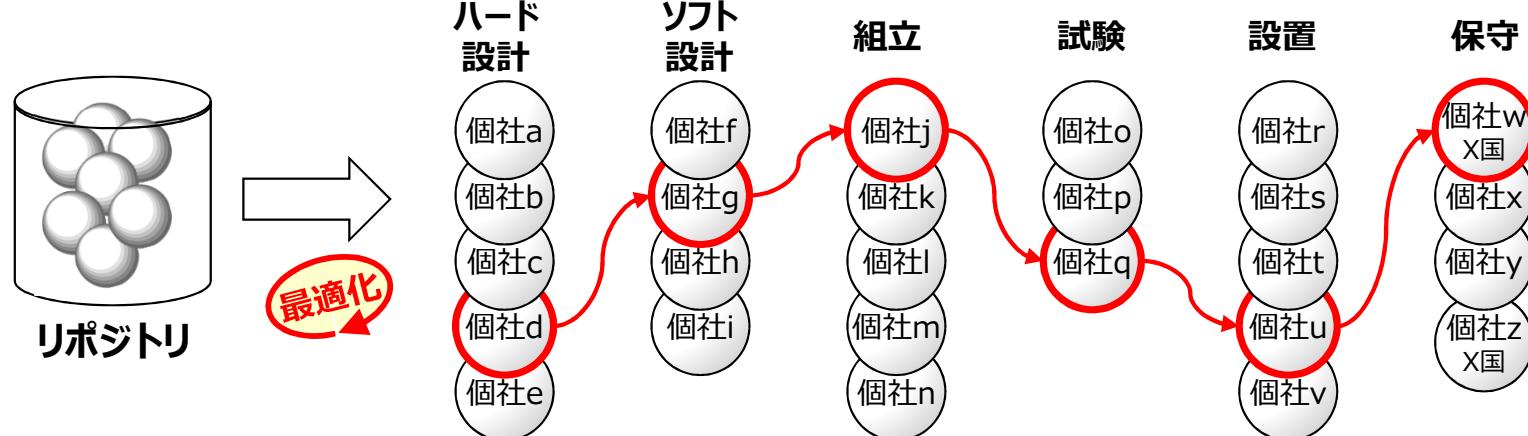
この例を用いて、本ケースでは選択肢が非常に多い場合のFBMモデル作成手順を説明する。

ミッション	
目的	X国向け制御盤
評価指標	優先度
コスト:	\$100k
納期:	2
保守:	2
X国内調達	1

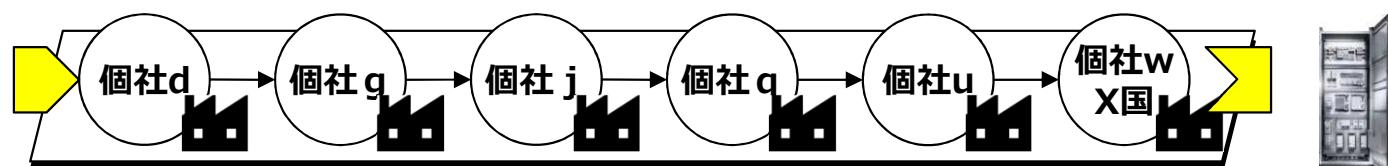
## 1) アウトライン作成



- 2) 要素ごとにリポジトリからサービス要素を検索すると、多くのサービス要素候補がヒットする
- 3) Webで、ヒットしたすべてのサービス要素候補へ照会する
- 4) 評価指標と優先度を基に、最適なFBMサービスの組み合わせを最適化手法で選択



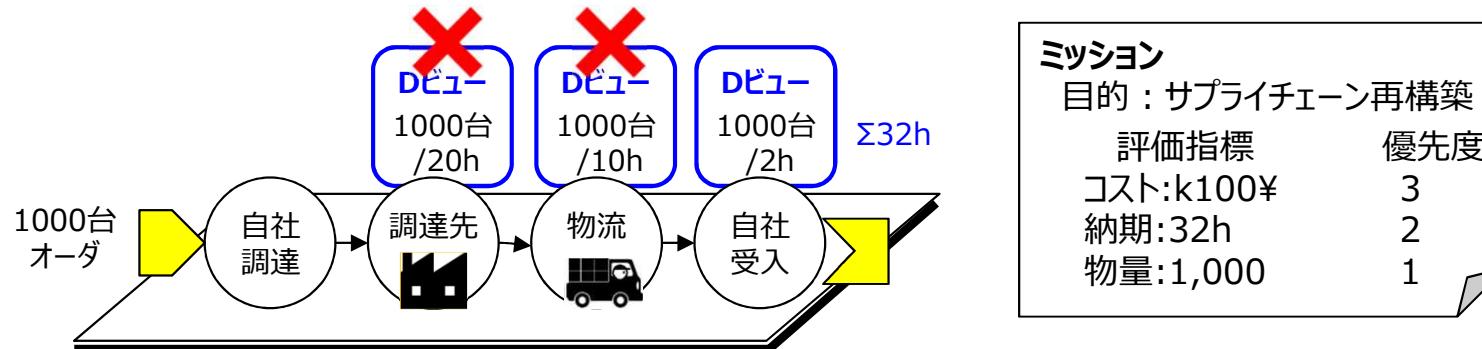
## 5) アウトラインに選択された個社を割り付ける



# ユースケース03 BCPに基づくサプライチェーン再構築

本ケースでは、自然災害により、調達先が生産停止になり、BCPに基づき、サプライチェーンを再構築するケースである。物量確保が最優先となるので、複数に分割したサプライチェーンに再構築し、必要な物量を確保する。

## 1) 被災前のFBMモデルより、物量、納期を把握する

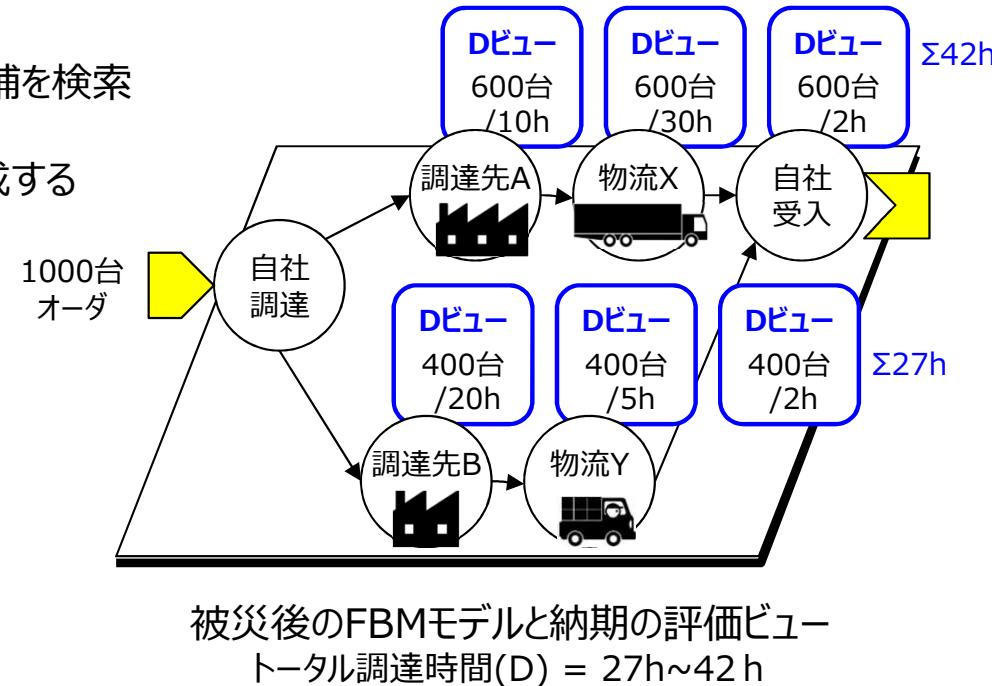


被災前のFBMモデルと評価ビュー  
物量1,000台／調達時間(D) = 32h

- 2) 調達先企業候補をリポジトリから検索し、その最寄りの物流企業候補を検索
- 3) 候補の個社へ、物量に対する納期を複数パターン一括で照会する
- 4) 照会結果から、最適な組み合わせを選び、ここからFBMモデルを作成する

	物量別納期(D)				
FBMサービス	200	400	600	800	1000
製造A社	10	10	10	30	30
物流X社	30	30	30	30	30
小計	40	40	40	60	60
製造B社	20	20	40	40	60
物流Y社	5	5	10	10	20
小計	25	25	50	50	80

単位 : h



被災後のFBMモデルと納期の評価ビュー  
トータル調達時間(D) = 27h~42 h

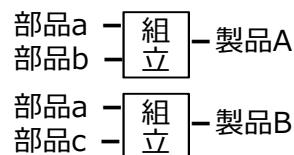
# ユースケース04 外部アプリケーションとの連携

ミッション

目的：製品A,B製造について、工程稼働率を最大化する  
 (条件) 製造図面1

部品製造可能な社内設備は⑪のみ  
 組立は3班。熟練度①>②>③

評価指標：自社の工程稼働率〇〇%以上



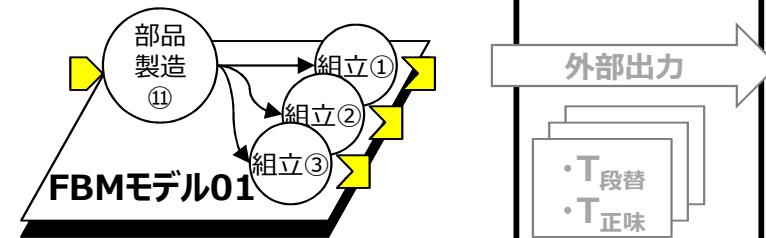
製造図面 1

本ケースでは、FBMモデルと外部アプリケーション（MESスケジューラなど）が連携して、工程稼働率を最大化するケースを説明する。

## FBMコーディネータ手順

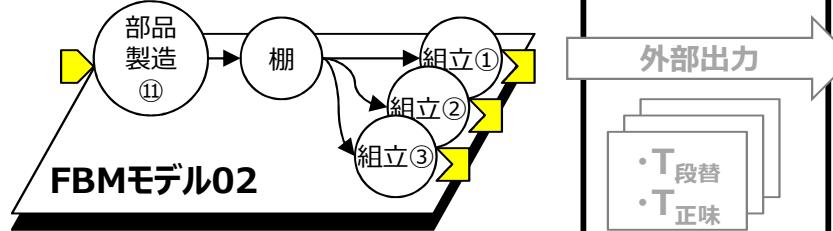
### 1) 現状モデルの確認

物量モデル-A	
製品A	10
製品B	10



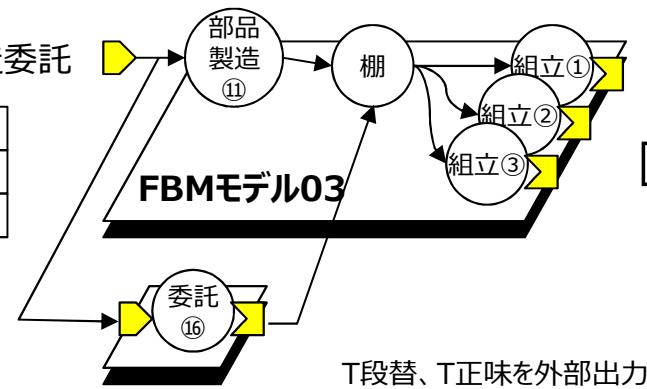
### 2) 棚を追加

物量モデル-B	
製品A	100
製品B	100



### 3) 部品aを外部製造委託

物量モデル-C	
製品A	200
製品B	100



T段替、T正味を外部出力

## MESオペレータ手順

物量に応じて、適切なFBMモデル01, 02, 03いずれかを選択する  
 FBMモデルの外部出力を用いて、より最適スケジューリングも可能

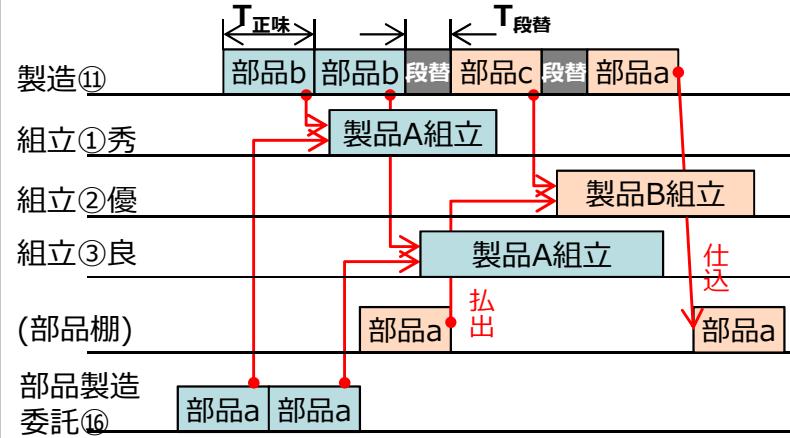
オーダ物量	
製品A	210
製品B	90

物量モデル-C	
製品A	200
製品B	100



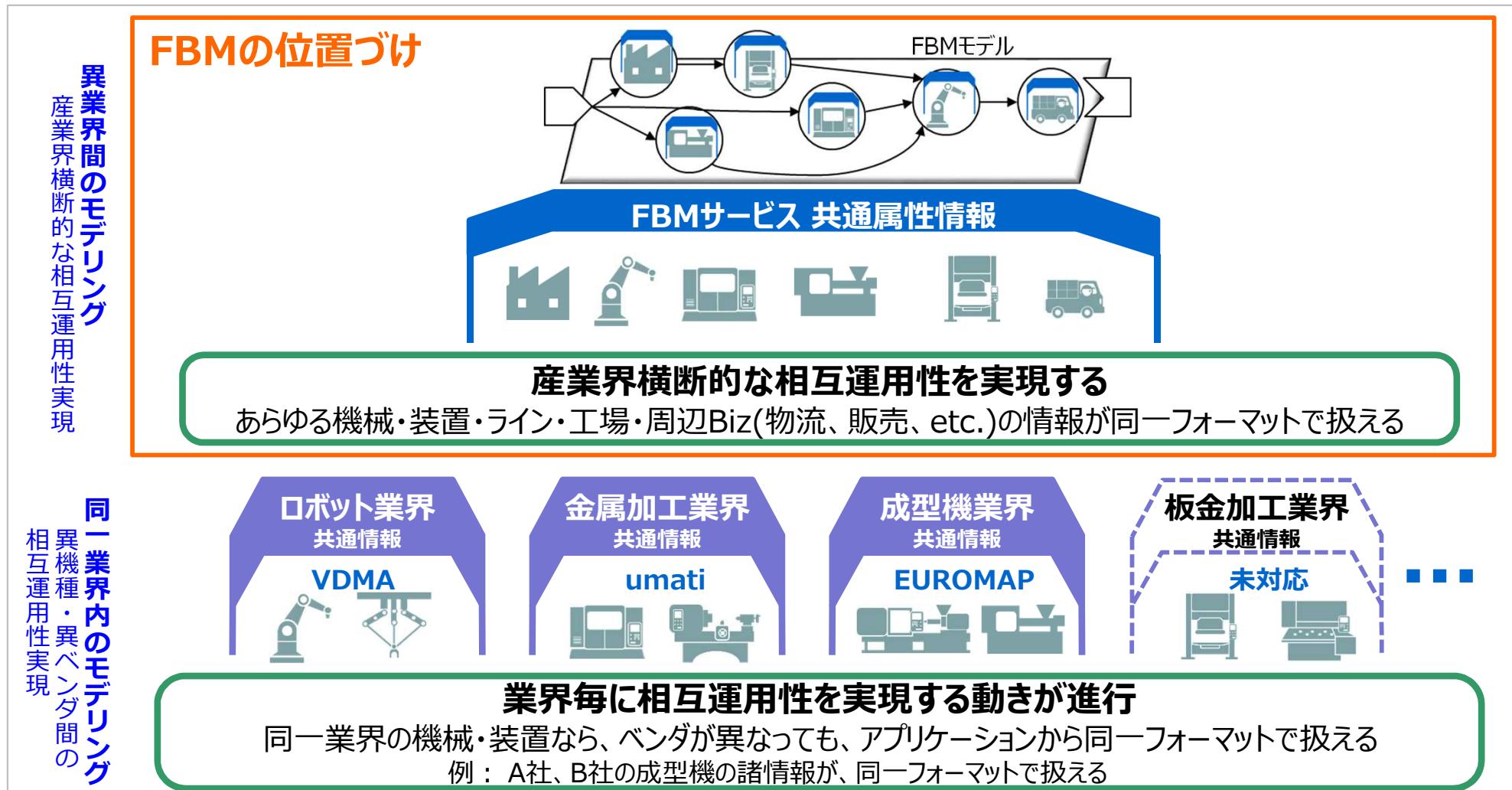
↓ FBMモデル03を選択

### 【FBMモデル03によるスケジュール】



# 参考：FBMの位置づけ

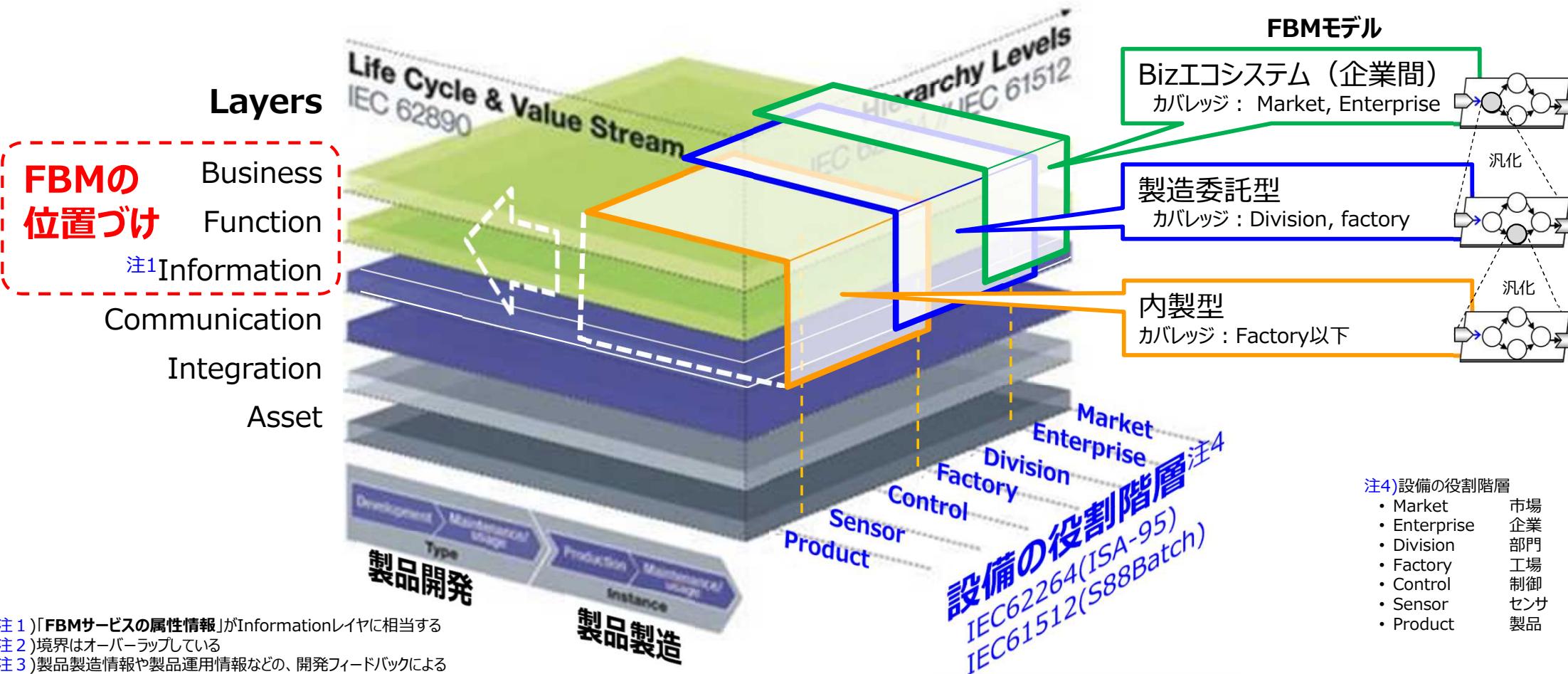
近年、欧州製造業を中心に、同一業界での相互運用性を目指した、機械・装置のモデル化が進行している。これは、異なるメーカーの成型機が、全て同一インターフェースで繋げることを意味する（国際標準規格OPC UAのコンパニオン仕様に統合される方向で検討中）  
これに対して、FBMは、製造関連バリューチェーンの最適化を実現するために、産業界横断的なモデル(FBMモデル)を提供する  
すなわち、バリューチェーンを評価（コスト、納期、効率、など）するという目的のために、あらゆる機械・装置・ライン・工場・周辺Biz(物流、販売、etc.)の情報が同一フォーマットで扱える世界を目指すものである



# 参考：RAMI4.0 を用いて、FBMを説明する

FBMは、FBMサービス(情報モデルのオブジェクト)をバリューリンクで繋ぎ、様々なBusinessを記述するものである（記述されたBizを”FBMモデル”とよぶ）

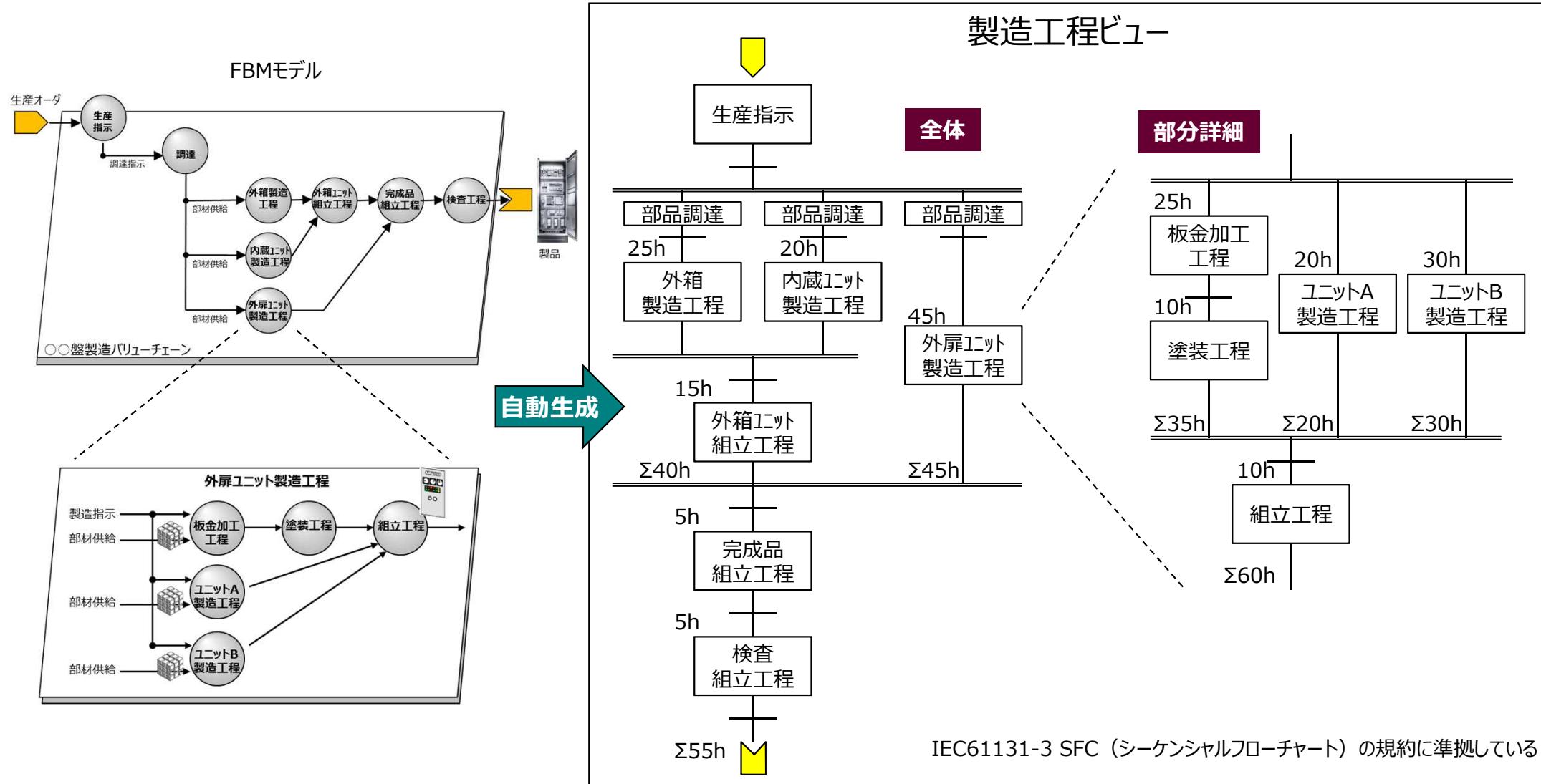
- ◆ FBMは、RAMI4.0のBusiness, Function, Informationの3レイヤに位置づけられる
- ◆ FBMモデルは、「設備の役割階層」のカバレッジ毎<sup>注2</sup>に、内製型、製造委託型、Bizエコシステム、が考えられる
- ◆ FBMは製品製造のみならず、製品開発にも価値を提供する<sup>注3</sup>



# 参考：製造工程ビュー

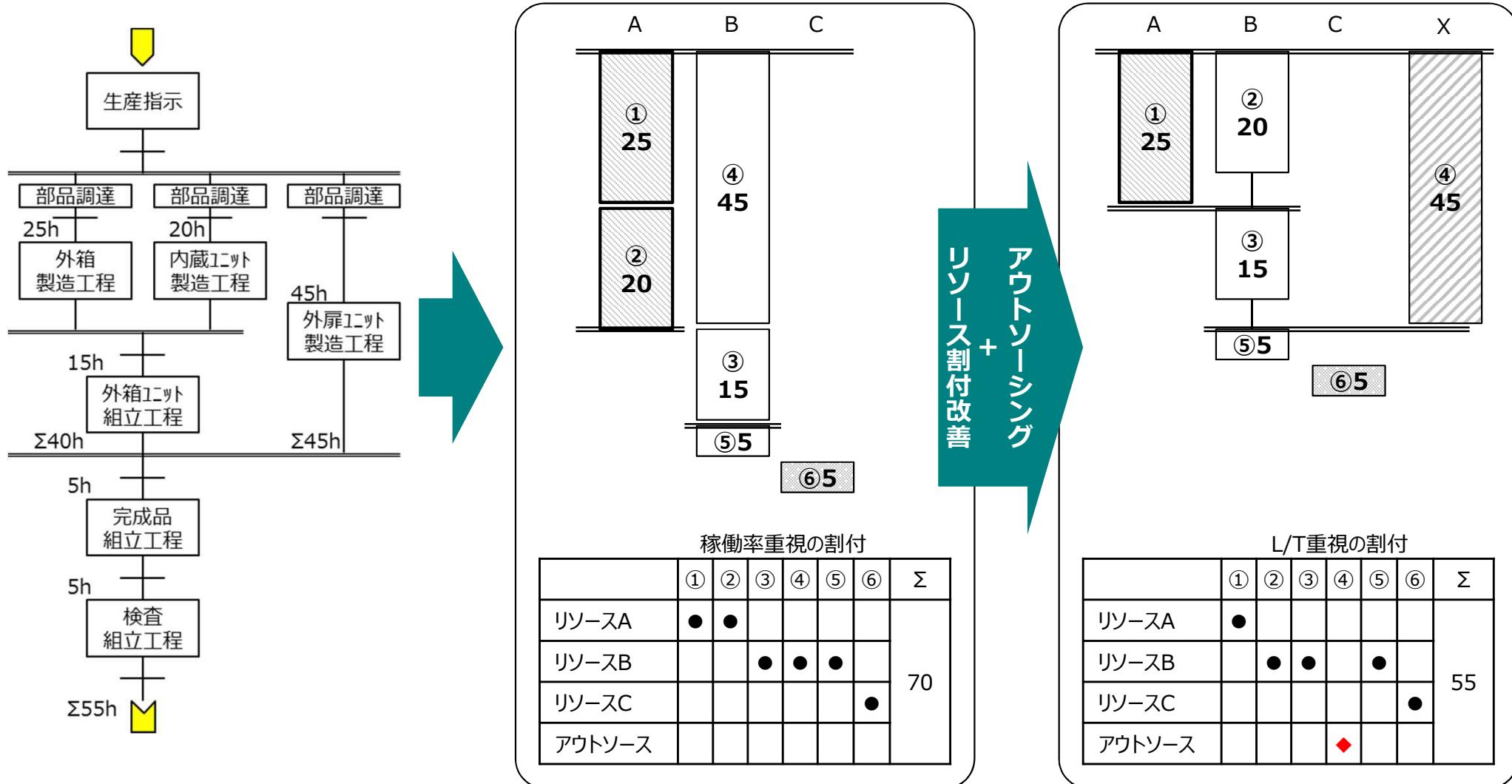
製造工程ビューを、状態遷移図形式で表現したイメージである。

本図では、サイクルタイム（時間）に着目しているが、コストも同様の表現が可能である。



# 参考：製造リソースビューのイメージ

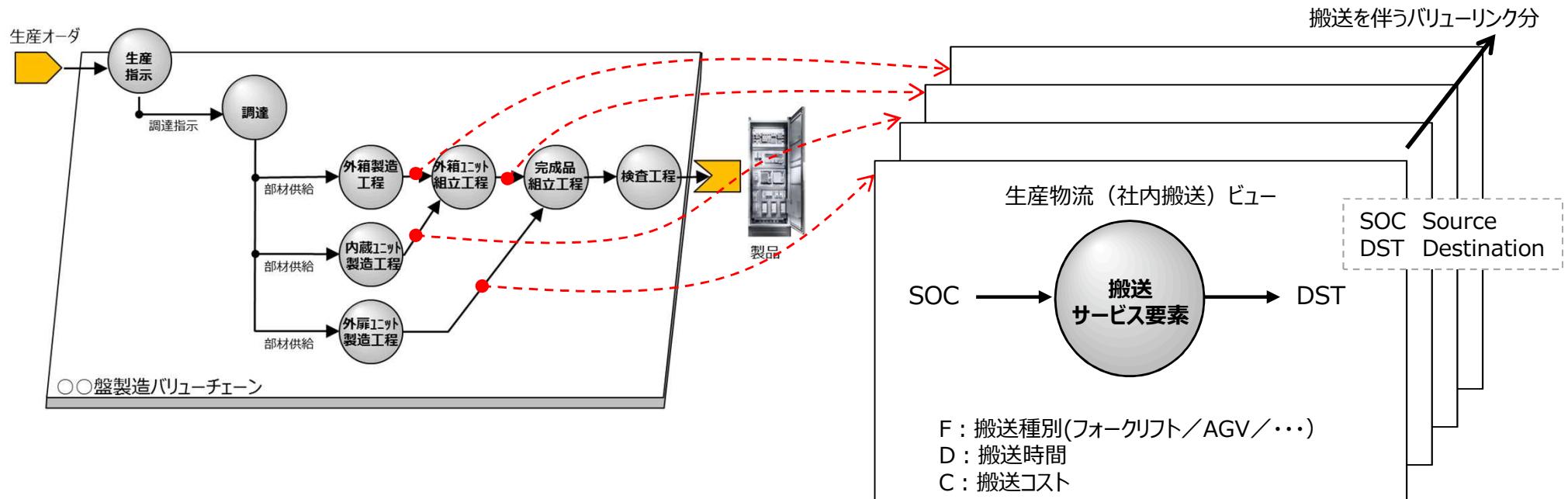
製造工程を、社内リソース（人）に割り付けた場合、およびアウトソーシングした場合について、差異を確認することができる。



# 参考：生産物流（社内搬送）ビューのイメージ

生産物流（社内搬送）ビューは、FBMモデルから半自動生成され、バリューリンク要素(矢印)ごとに、搬送サービス要素の割り当てを行う。

各サービス要素には、納期(Delivery)、調達コスト、保管コストなどが属性として登録されており、その集計値は、生産物流ビューと同様に、製造工程ビューへ自動反映される。



# 参考：調達物流ビューのイメージ

調達物流ビューは、FBMモデルから半自動生成され、調達要素ごとに、調達先や受入サービス要素、保管（倉庫や棚）サービス要素、搬送サービス要素の選択を行う。

調達先も含めて各要素には、納期(Delivery)と調達コストや保管コストが属性として登録されており、その集計値は、生産物流ビューと同様に、製造工程ビューへ自動反映される。

