

主流の「部品表」では対応できない クルマの”組み合わせ爆発問題”

2023/07/24
BABIECA 上山大介

背景

なぜ今までは大丈夫だったのか？ … これまでの部品表

これまで自動車メーカーが基幹として据えてきた「部品表」は「生産」に必要な部品を管理するためのシステムであり、

- 生産中の部品構成だけを管理すれば事足りるとされてきた

生産後の部品構成（リコール等の部品交換）は、

- ディーラーで実施することが前提
- ユニット交換が主



大まかな製造時期で交換対象となる車両を特定できれば、あとはディーラーで確認可能

「生産中」の部品構成を管理できていればよかった

どうしてこれからはダメなのか？ … これからの部品表

背景

- ✓ OTA : Over The Air
 - 無線通信によってソフトウェアを更新する仕組み
 - ハードウェア交換に比べ容易に更新可能 → 更新回数/頻度が多くなる
- ✓ 自動運転
 - 複数の機能を組み合わせで成立させる複合的な機能
 - ソフトウェアの重要性が高い
 - しかも安全に関わる

更新による影響範囲を
明確にすることが
法規で求められる

ハードウェアではなくソフトウェア視点での管理が求められる（ソフトウェア部品表）

- ✓ 車両のライフサイクル全てにわたって管理する必要がある
- ✓ 世界中で使われている全ての車両について管理する必要がある

管理すべき「組み合わせ」

全ての車両が、そのライフサイクルに渡って継続的に
「機能×ハード×ECU×ソフト」の組み合わせを持ち、
かつ、それがライフサイクルに渡って変化し続ける

= 機能 × ハード × ハードのソフト × ECU × ECUのソフト × 車種 × ライフサイクル

30

50

30

10

30

100

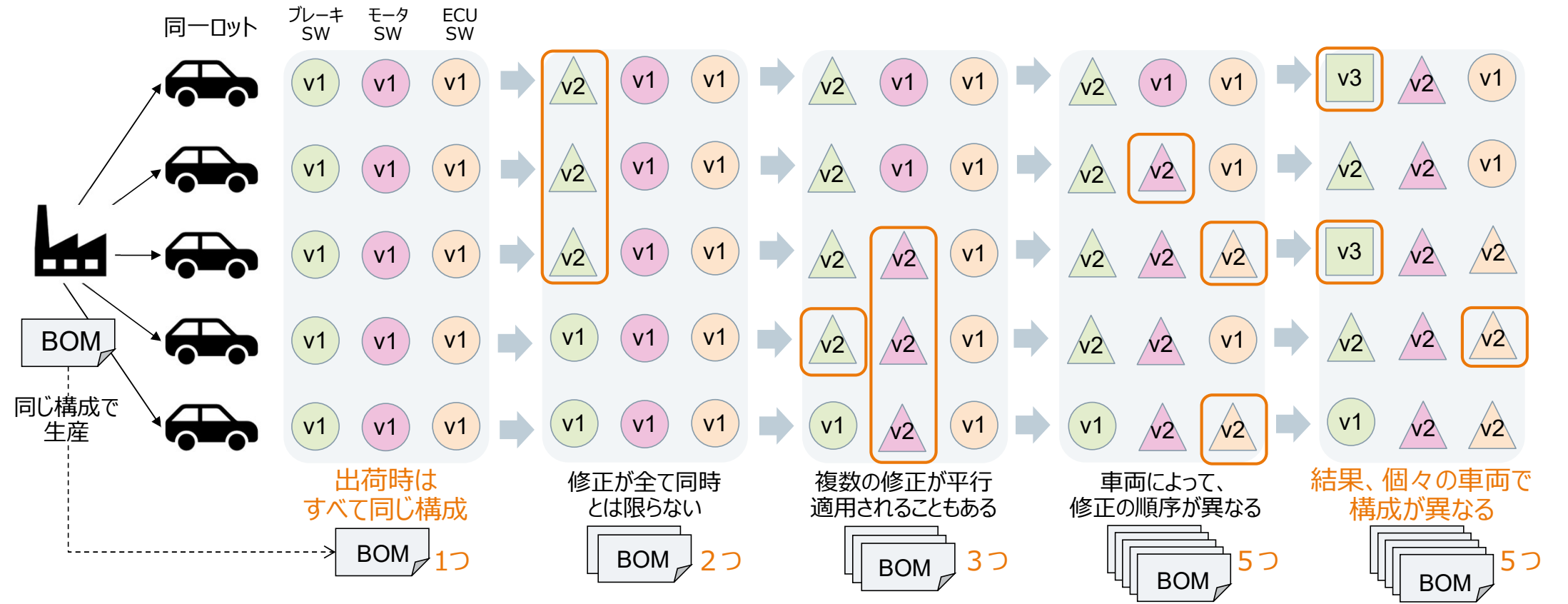
5回更新

= 約68億

問題は「市場」での組み合わせ！

「保守用の部品表システム」を「全ての車両毎に」構築する!?

市場に出回っている車両のソフトウェア修正を適切に実施してゆくためには、
「全ての車両」の「ライフサイクル全般」にわたる管理が必要になる

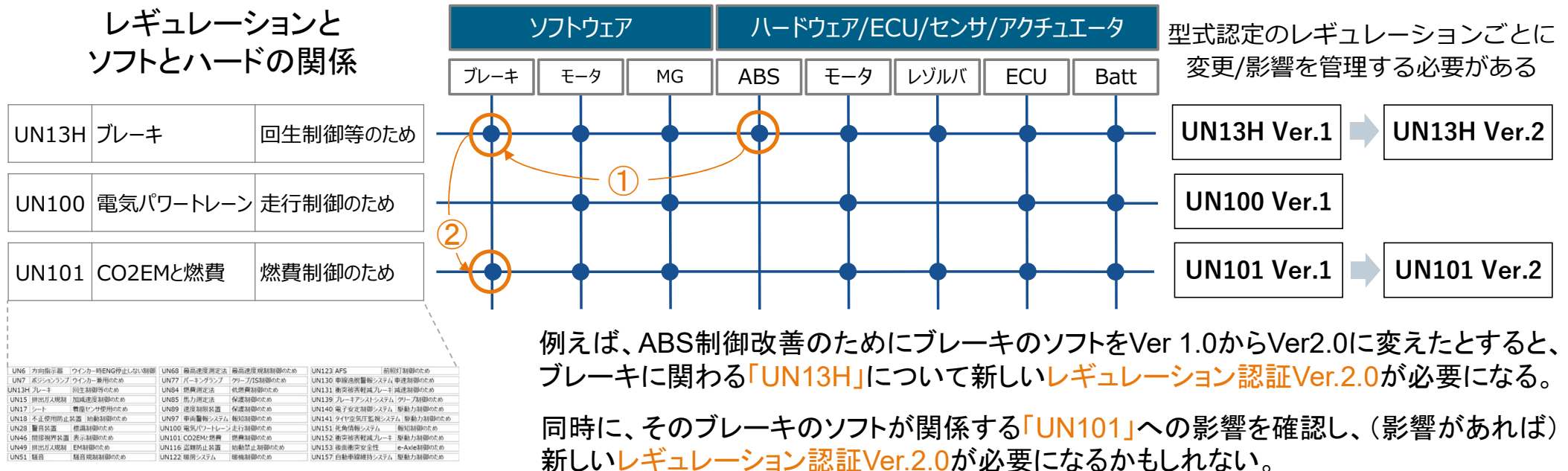


“組み合わせ爆発”は避けられない

「膨大な組み合わせ」の中から影響範囲を特定する!?

車両を構成する機能には30以上のレギュレーションが存在し、関係する機能に変更が生じた場合には、認証当局への届け出が必要となります。

そして、機能とそれを実現するためのハードウェア/ソフトウェア/ECUの組み合わせの多くが、「複数のレギュレーション」に関わっているため、その組み合わせは膨大な数になります。



車両を構成する機能に関わる規制は30以上存在する

組み合わせの「正しさ」を説明できるか？

組み合わせ爆発を 防~~ぐ~~ コントロールする

生産時の構成

グレードによってブレーキが異なる「5種類の車両」が生産されたとする：

- ・STDグレード … 「Type-X」のブレーキで「標準仕様」と「寒冷地仕様」の2種
- ・LXグレード … 「Type-Y」のブレーキで「標準仕様」と「寒冷地仕様」の2種
- ・GTグレード … 「Type-Z」のブレーキで「標準仕様」のみ

なお、「ブレーキの仕様」はECUとソフトウェアで達成するものとする：

- ・「標準仕様」のブレーキは、A社製のECU (A1) にバージョン1のソフトウェア
- ・「寒冷地仕様」のブレーキは、B社製のECU (B1) にバージョン2のソフトウェア

	STDグレード		LXグレード		GTグレード
	標準仕様	寒冷地仕様	標準仕様	寒冷地仕様	標準仕様
ブレーキHW	Type-X	Type-X	Type-Y	Type-Y	Type-Z
ブレーキSW	Ver.1	Ver.2	Ver.1	Ver.2	Ver.1
ブレーキECU	A社製ECU A1	B社製ECU B1	A社製ECU A1	B社製ECU B1	A社製ECU A1

保守による構成の変化①

その後、不具合対応のため、下記のような保守を行ったとする：

- ・バージョン1のソフトウェアをアップデート（バージョン1からバージョン1.1）
- ・A社製のECUを交換（A1からA2）



市場にはどのような構成の車両が存在し得る？

	STDグレード		LXグレード		GTグレード
	標準仕様	寒冷地仕様	標準仕様	寒冷地仕様	標準仕様
ブレーキHW	Type-X	Type-X	Type-Y	Type-Y	Type-Z
ブレーキSW	Ver.1 or Ver.1.1	Ver.2	Ver.1 or Ver.1.1	Ver.2	Ver.1 or Ver.1.1
ブレーキECU	A社製ECU A1 or A2	B社製ECU B1	A社製ECU A1 or A2	B社製ECU B1	A社製ECU A1 or A2

生産時の「部品表」では分からない

保守による構成の変化②

その後、不具合対応のため、下記のような保守を行ったとする：

- ・バージョン1のソフトウェアをアップデート（バージョン1からバージョン1.1）
- ・A社製のECUを交換（A1からA2）



市場には **1 4 通り** の構成の車両が存在し得る

表は二次元なので「二者の関係」を表現するのは容易だが、
今回のような「三者以上の関係」を表現するのは苦手

	STDグレード					LXグレード					GTグレード			
	標準仕様				寒冷地仕様	標準仕様				寒冷地仕様	標準仕様			
	SWアップデート未		SWアップデート済			SWアップデート未		SWアップデート済			SWアップデート未		SWアップデート済	
	ECU未交換	ECU交換済	ECU未交換	ECU交換済		ECU未交換	ECU交換済	ECU未交換	ECU交換済		ECU未交換	ECU交換済	ECU未交換	ECU交換済
ブレーキHW	Type-X	Type-X	Type-X	Type-X	Type-X	Type-Y	Type-Y	Type-Y	Type-Y	Type-X	Type-Z	Type-Z	Type-Z	Type-Z
ブレーキSW	Ver.1	Ver.1	Ver.1.1	Ver.1.1	Ver.2	Ver.1	Ver.1	Ver.1.1	Ver.1.1	Ver.2	Ver.1	Ver.1	Ver.1.1	Ver.1.1
ブレーキECU	A1	A2	A1	A2	B1	A1	A2	A1	A2	B1	A1	A2	A1	A2

部品「表」では管理しきれない

「図」で考える：「組み合わせ」はどうなっている？

今回のケースでは

- ・ 1 4 通りの組み合わせ

が存在することになっているが、個々の部品で考えると

- ・ ハードウェア … Type-X/Type-Y/Type-Zの3種類
- ・ ソフトウェア … Ver.1/Ver.1.1/Ver.2の3種類
- ・ ECU … A1/A2/B1の3種類

が存在するので、

その理論的な組み合わせは、

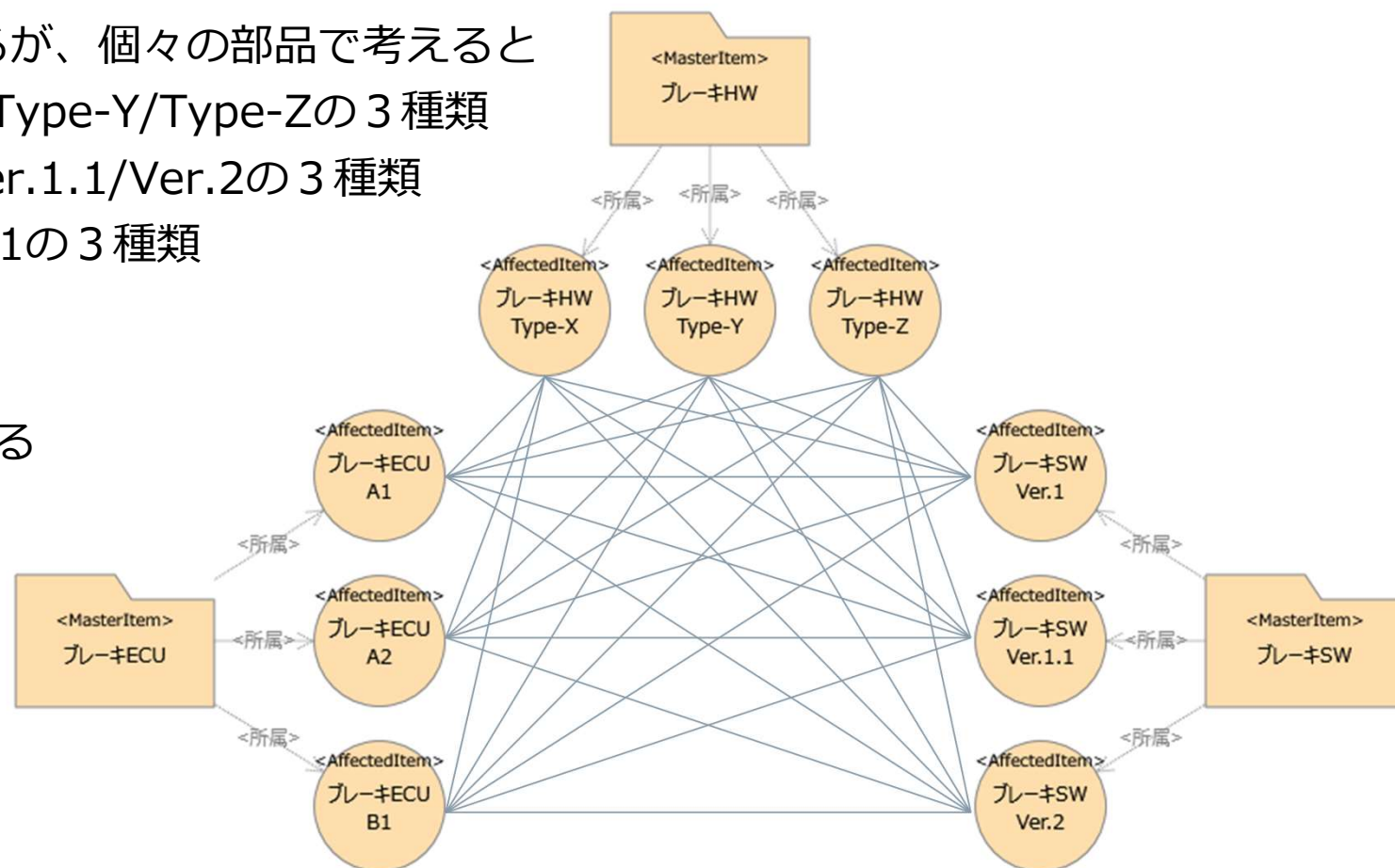
$3 \times 3 \times 3$ で 2 7 通り存在する

↓

残りの組み合わせは？

↓

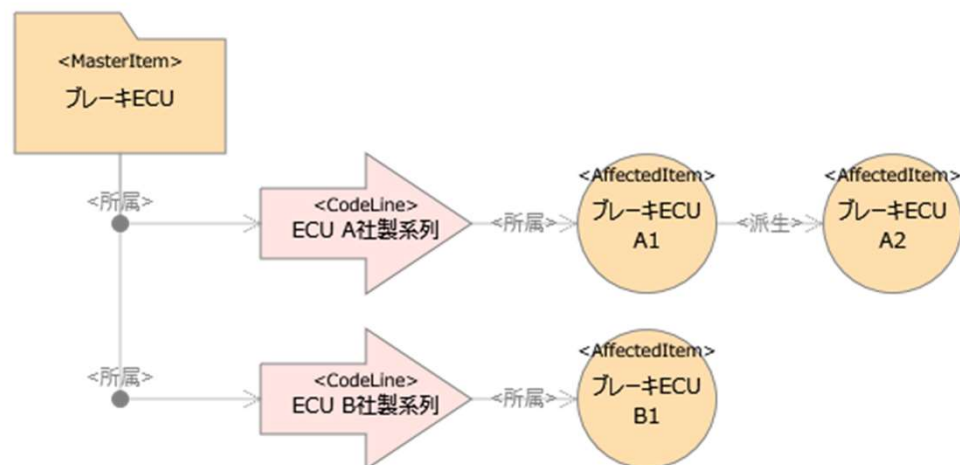
製品の仕様/部品の仕様
で結果的に排除されている



「部品の仕様」を図で整理してみる

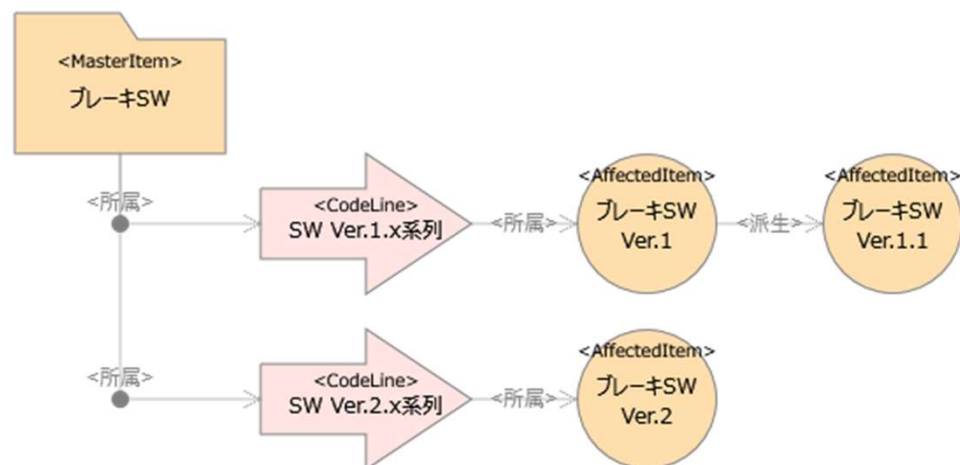
ブレーキのECU

- ・ A社製系列のECUが「A1」と「A2」
- ・ B社製系列のECUが「B1」



ブレーキのソフトウェア

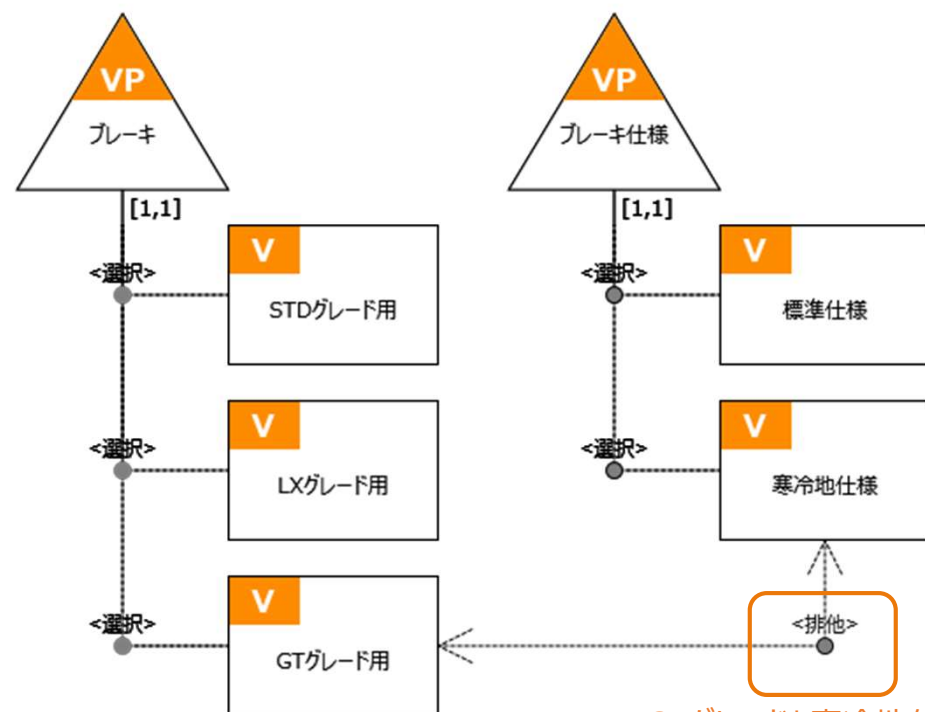
- ・ Ver.1系列が「Ver.1」と「Ver.1.1」
- ・ Ver.2系列が「Ver.2」



「製品の仕様」を図で整理してみる

- STDグレード … 「標準仕様」と「寒冷地仕様」
- LXグレード … 「標準仕様」と「寒冷地仕様」
- GTグレード … 「標準仕様」のみ

	ブレーキ	ブレーキ仕様
STDグレード	STDグレード用	標準仕様
		寒冷地仕様
LXグレード	LXグレード用	標準仕様
		寒冷地仕様
GTグレード	GTグレード用	標準仕様
		寒冷地仕様



GTグレードと寒冷地仕様の
組み合わせは無い
(排他である)

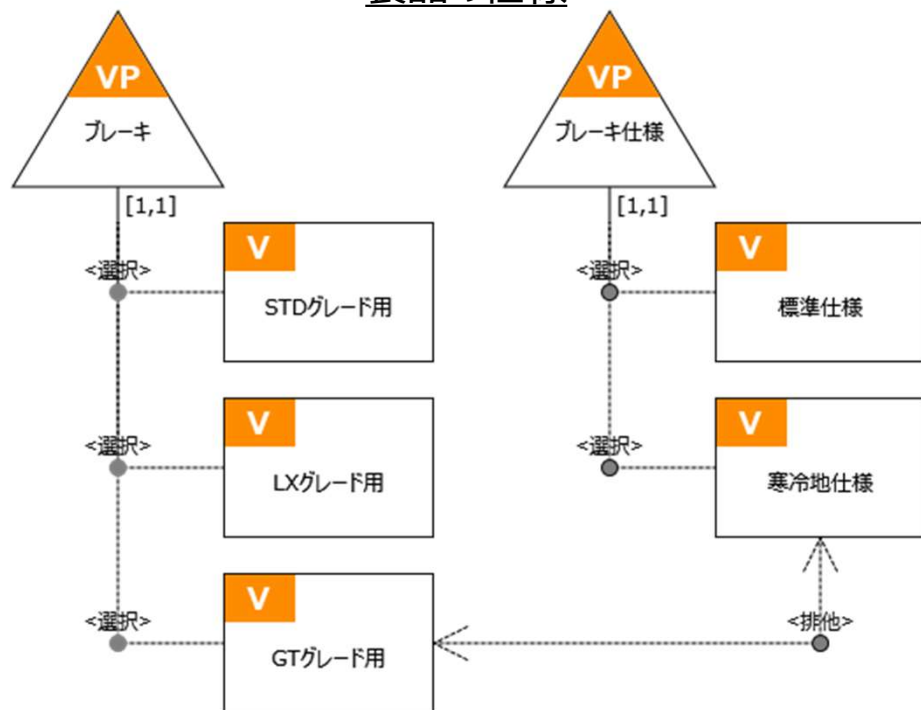
このように図形や線といった「一定の表記法」に従って「物事の関係性を記述する」ことを、「モデル化」と言います

※ここではOMGで標準化された「OVM: Orthogonal Variant Modeling」という表記法を用いています

「製品の仕様」と「部品の仕様」の関係を、 図:モデルで整理してみる

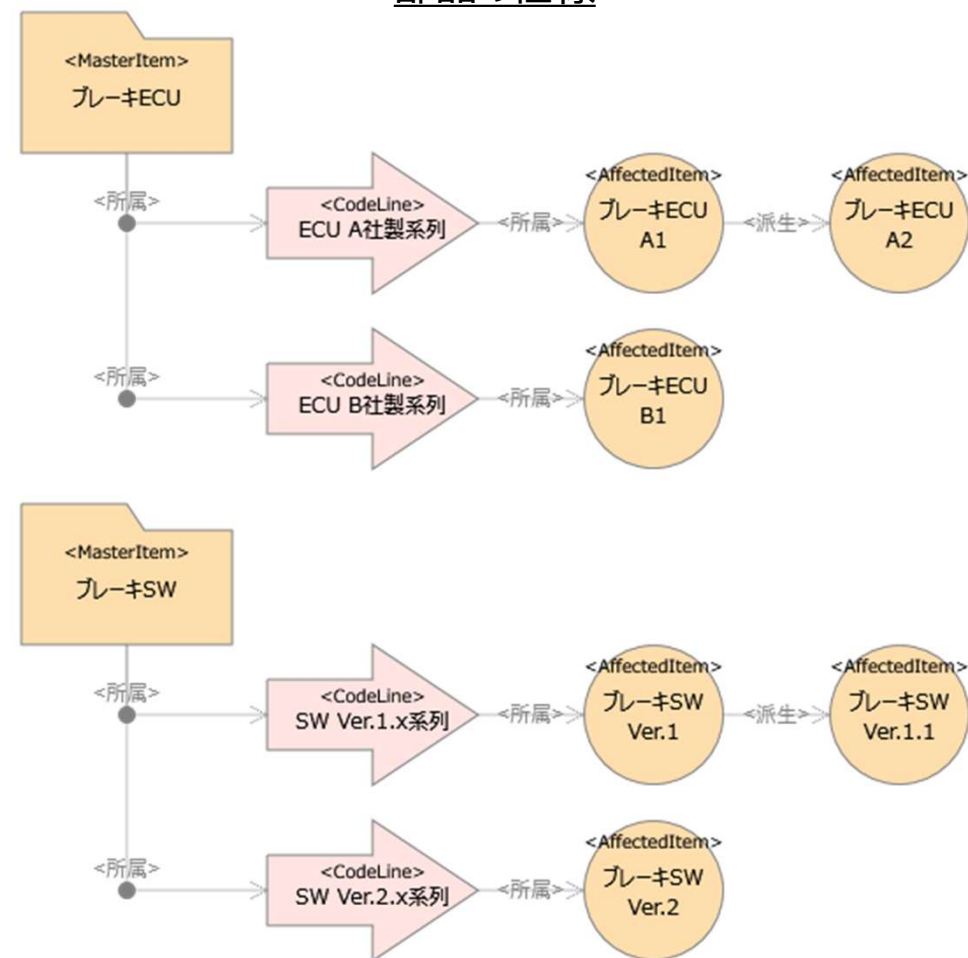
モデル	仕様の整理/可視化
	制約の整理/可視化

製品の仕様



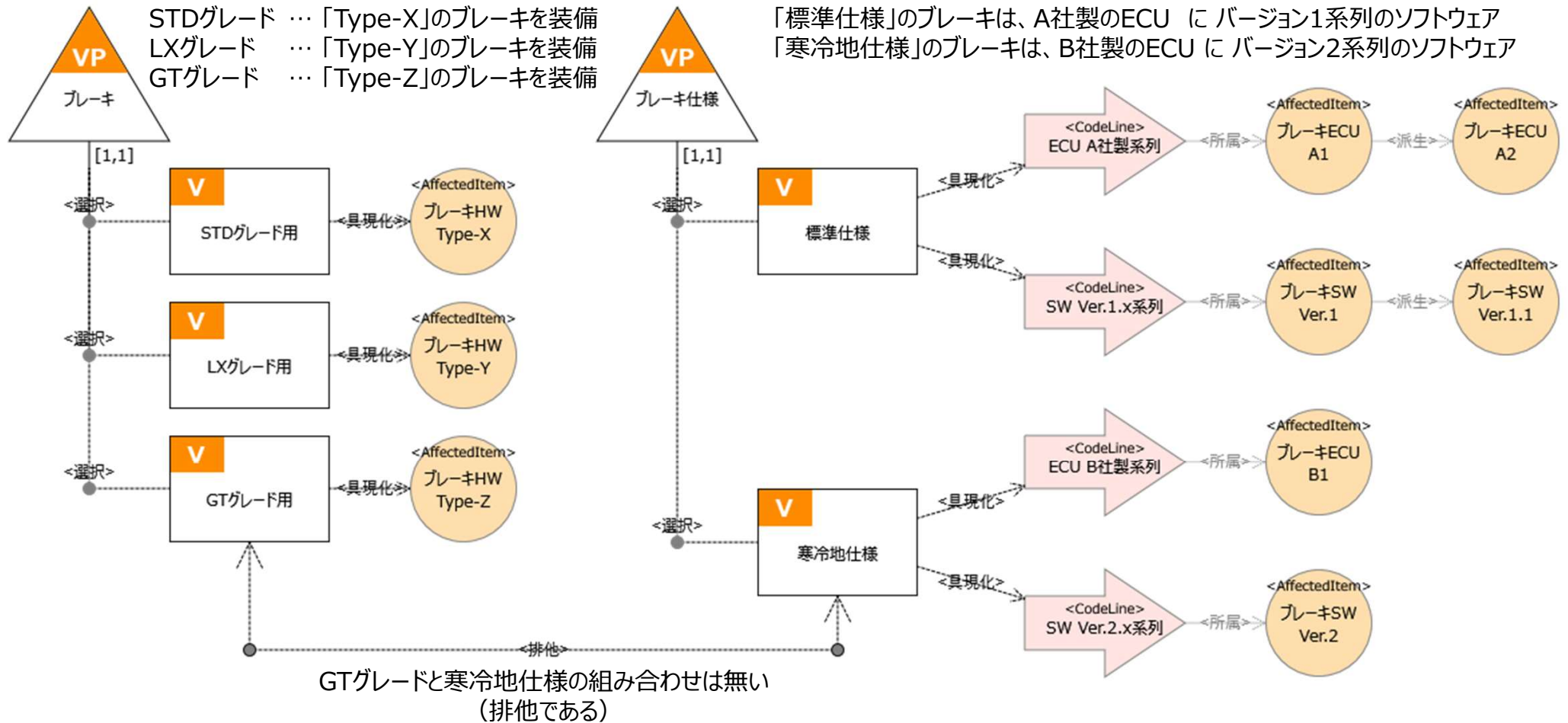
部品の仕様

+



「製品の仕様」と「部品の仕様」の関係を、 図:モデルで整理してみる

モデル	仕様の整理/可視化
	制約の整理/可視化

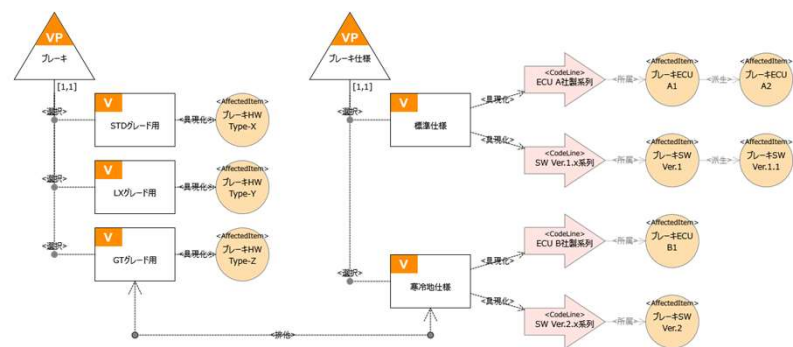


AIの利用：「モデル」から「表」を生成する

AI
ソルバ

制約を満たす組み合わせ
(最適な組み合わせ)

モデル：製品や部品間の関係を可視化



AIソルバ



実行結果

結果 標準出力

解の数 14

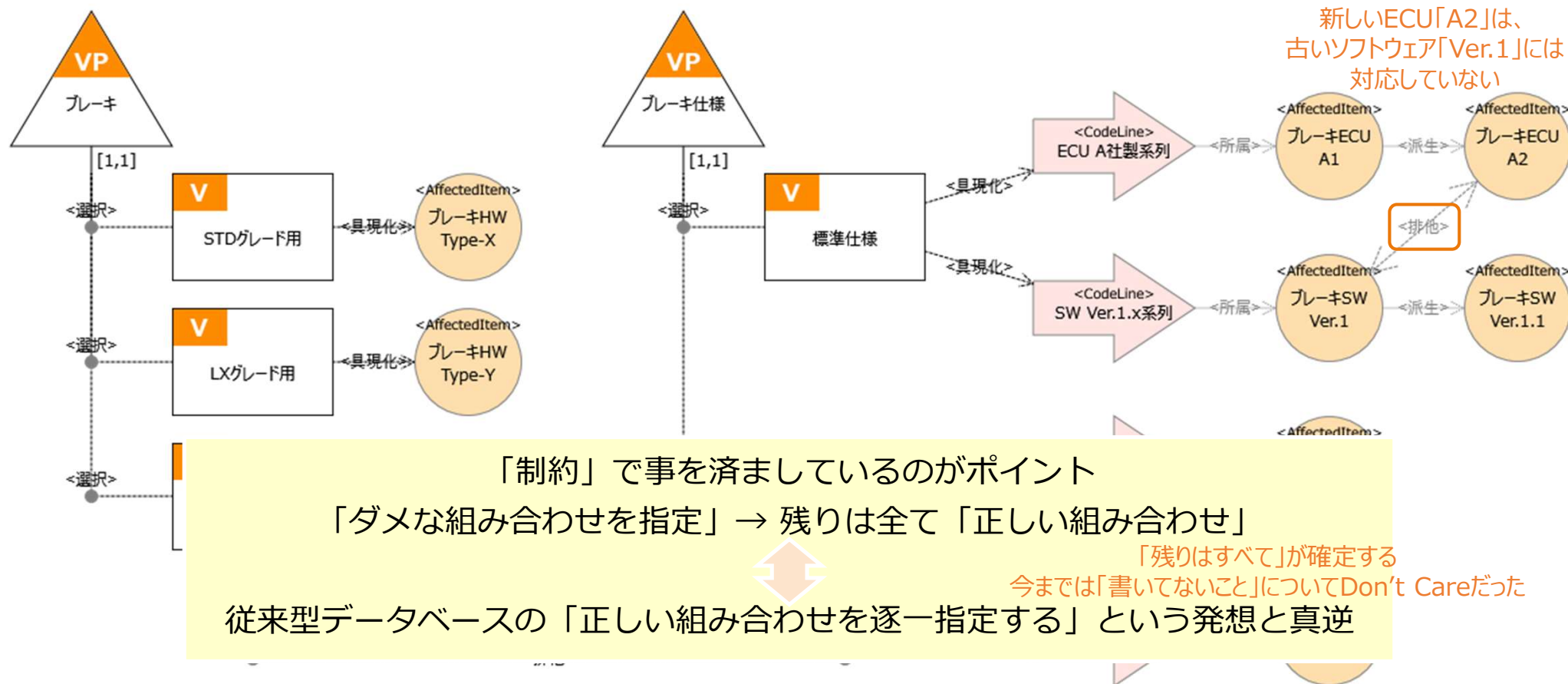
可変点	選択肢	番号	属性	解1	解2	解3	解4	解5	解6	解7	解8	解9	解10	解11	解12	解13	解14
[可変点]ブレーキ	[選択肢]STDグレード用			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
[可変点]ブレーキ	[選択肢]LXグレード用			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
[可変点]ブレーキ	[選択肢]GTグレード用			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
[可変点]ブレーキ仕様	[選択肢]標準仕様			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
[可変点]ブレーキ仕様	[選択肢]寒冷地仕様			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<CodeLine> ECU A社製系列	<AffectedItem> ブレーキECU A1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<CodeLine> ECU A社製系列	<AffectedItem> ブレーキECU A2			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<CodeLine> ECU B社製系列	<AffectedItem> ブレーキECU B1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<CodeLine> SW Ver.1.x系列	<AffectedItem> ブレーキSW Ver.1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<CodeLine> SW Ver.2.x系列	<AffectedItem> ブレーキSW Ver.2			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキECU	<AffectedItem> ブレーキECU A1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキECU	<AffectedItem> ブレーキECU A2			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキECU	<AffectedItem> ブレーキECU B1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキHW	<AffectedItem> ブレーキHW Type-Z			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキHW	<AffectedItem> ブレーキHW Type-Y			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキHW	<AffectedItem> ブレーキHW Type-X			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキSW	<AffectedItem> ブレーキSW Ver.1.1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキSW	<AffectedItem> ブレーキSW Ver.2			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<MasterItem> ブレーキSW	<AffectedItem> ブレーキSW Ver.1			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

「モデル」によって可視化された
製品や部品間の関係（制約やルール）
を
「AIソルバ」で解くことにより、
「実現可能/適切/最適な組み合わせ」
を得る

	STDグレード用					LXグレード用					GTグレード用			
	標準仕様				寒冷地仕様	標準仕様				寒冷地仕様	標準仕様			
	SWアップデート未		SWアップデート済			SWアップデート未		SWアップデート済			SWアップデート未		SWアップデート済	
	ECU未交換	ECU交換済	ECU未交換	ECU交換済		ECU未交換	ECU交換済	ECU未交換	ECU交換済		ECU未交換	ECU交換済	ECU未交換	ECU交換済
ブレーキHW	Type-X	Type-X	Type-X	Type-X	Type-X	Type-Y	Type-Y	Type-Y	Type-Y	Type-X	Type-Z	Type-Z	Type-Z	Type-Z
ブレーキSW	Ver.1	Ver.1	Ver.1.1	Ver.1.1	Ver.2	Ver.1	Ver.1	Ver.1.1	Ver.1.1	Ver.2	Ver.1	Ver.1	Ver.1.1	Ver.1.1
ブレーキECU	A1	A2	A1	A2	B1	A1	A2	A1	A2	B1	A1	A2	A1	A2

さらに制約を追加してみる

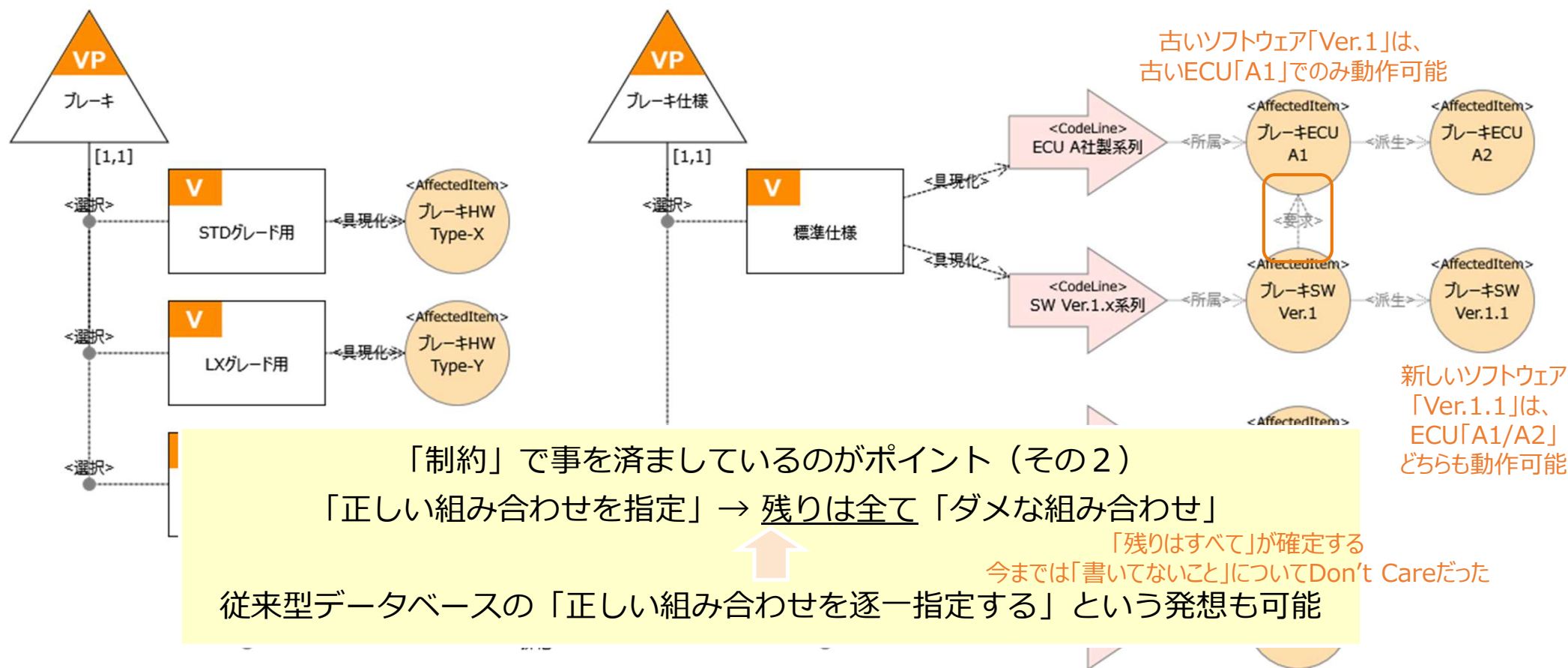
互換性の制約：新しいECU「A2」は古いソフトウェア「Ver.1」には対応していない



「制約」を可視化すると同時に、「不要な組み合わせ」を排除する

さらに制約を追加してみる

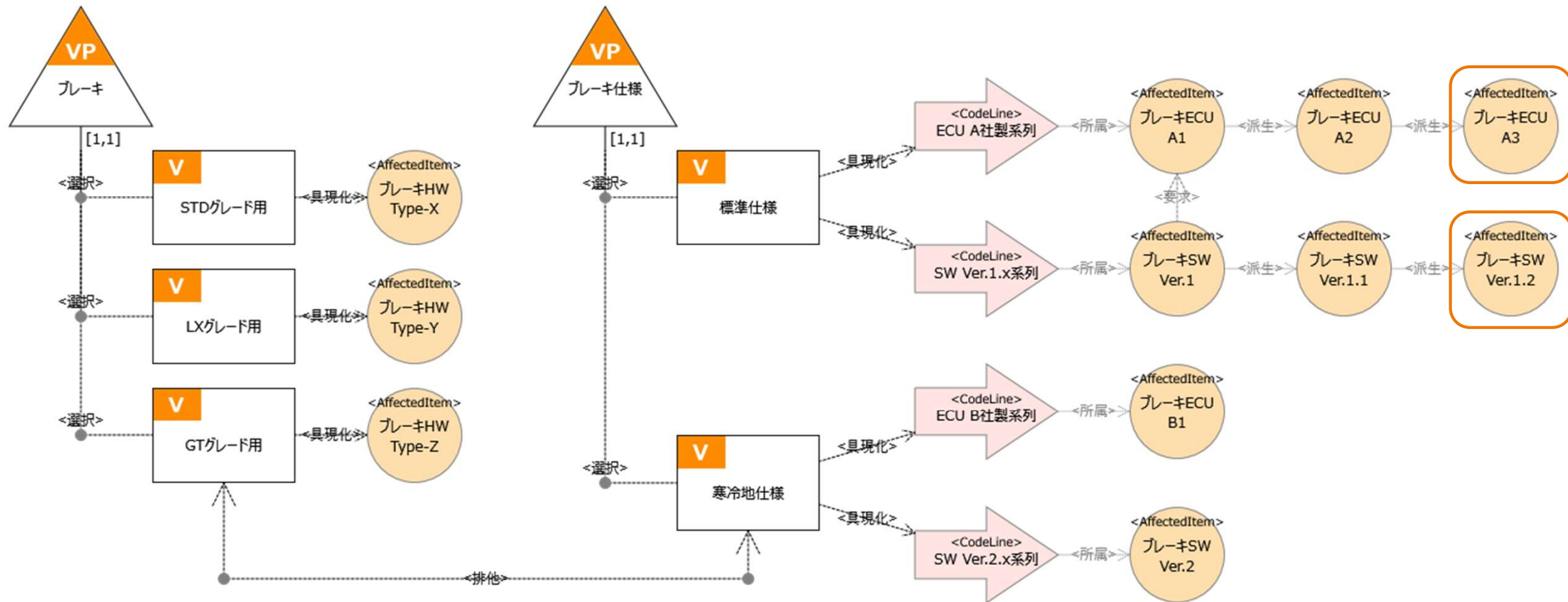
互換性の制約：古いソフトウェア「Ver.1」は、古いECU「A1」でのみ動作可能（※前頁と同義）



「制約」を可視化すると同時に、「必要な組み合わせ」を絞る

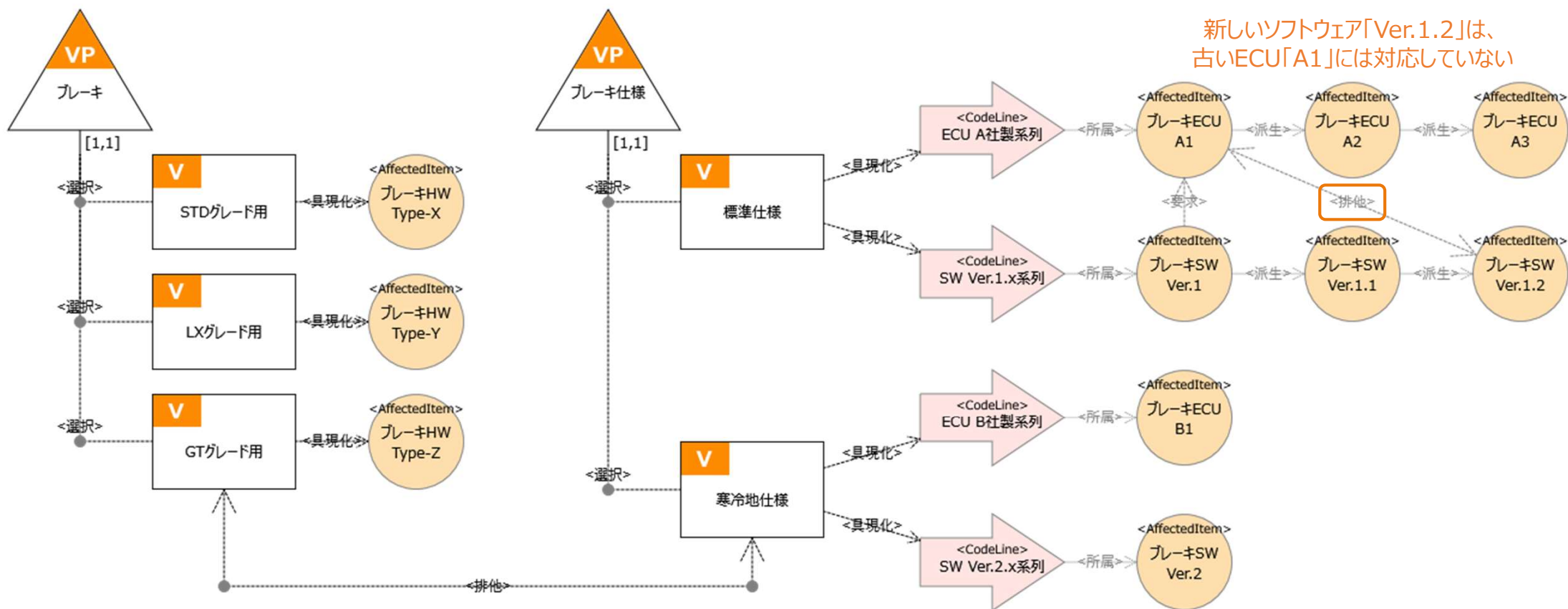
さらにバージョンアップしてみる（派生関係）

派生開発：ブレーキのECU「A3」とソフトウェア「Ver.1.2」を追加

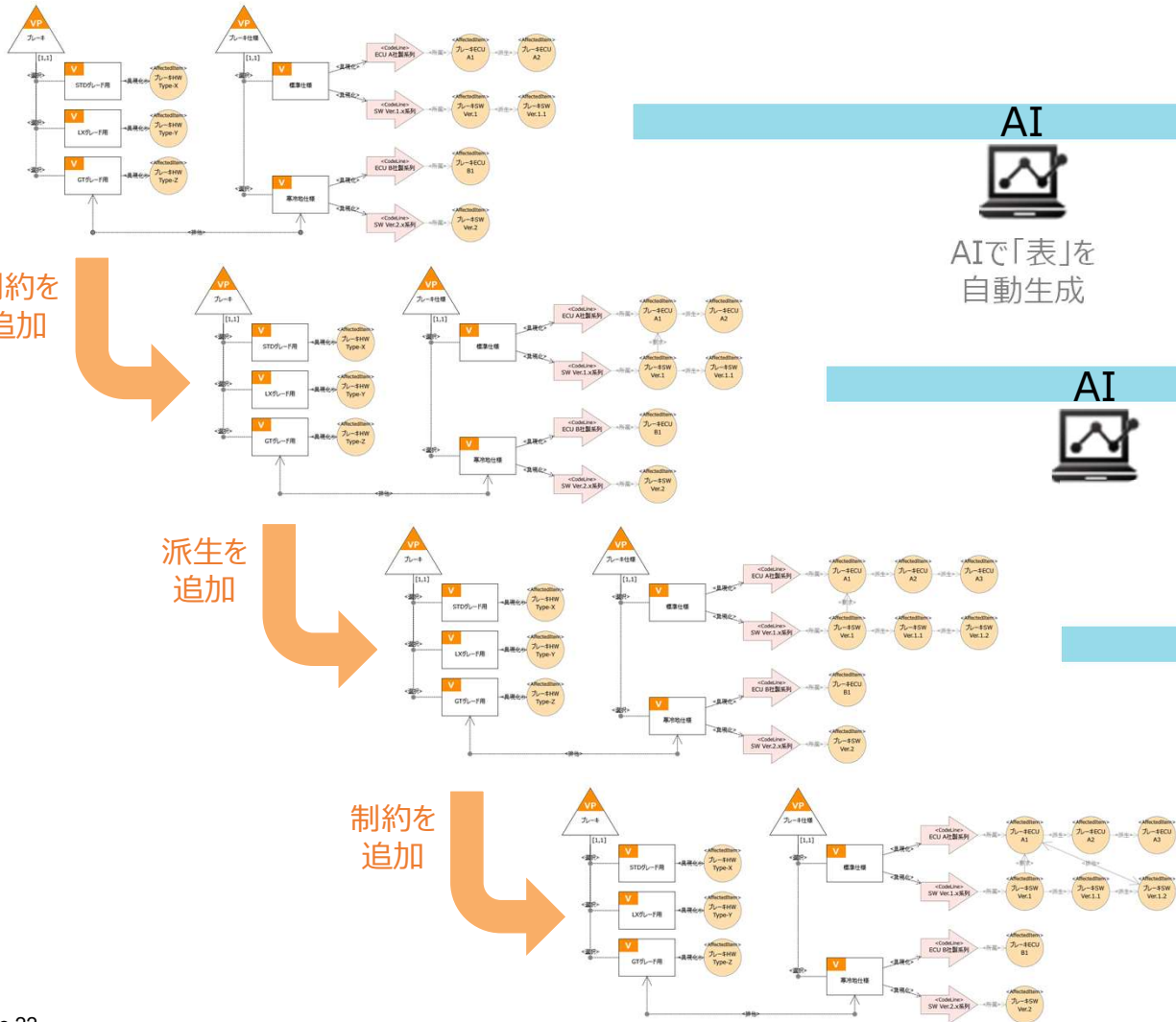


さらに制約を追加してみる

互換性の制約：新しいソフトウェア「Ver.1.2」は、古いECU「A1」には対応していない
(A2/A3には対応している)



「表」を記述/修正するのではなく、
「制約」を記述し、必要に応じて「表」をAIで自動生成させる

[illegible][illegible][illegible][illegible]

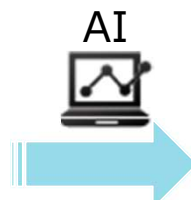
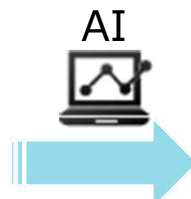
「表」は人手で
いじらない
(間違いの元)

モデル型部品表
(制約等の“関係性”を表現)

(制約等の"関係性"を表現)

マトリクス型部品表

(選ばれた"結果だけ"を表現)



自動保存

01H8B9DQ3E9BT15AAQZGICr - 保存済み

検索

上から下へ

印刷

共有

ファイル

ホーム

挿入

ページレイアウト

表式

データ

参照

表示

自動化

開発

ヘルプ

R33

コメント

共有

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	空白セル	保護解除	番号	属性	#N1	#N2	#N3	#N4	#N5	#N6	#N7	#N8	#N9	#N10	#N11	#N12	#N13	#N14	#N15	#N16	#N17	#N18	#N19	#N20	#N21	#N22
2	ブレーキ	SVグレード用			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	ブレーキ	LSVグレード用			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	ブレーキ	GTグレード用			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	ブレーキ仕様	標準仕様			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	ブレーキ仕様	高トルク仕様			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	{MasterItem} ブレーキS#	{AFactoredItem} ブレーキS# Ver.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	{MasterItem} ブレーンS#	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	{MasterItem} ブレーンS#	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	{CodeItem} ブレーンS#	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.1-2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	{MasterItem} ブレーンS#	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.1.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	{MasterItem} ブレーンHW	{AFactoredItem} ブレーンHW Type=1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	{MasterItem} ブレーンHW	{AFactoredItem} ブレーンHW Type=1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	{MasterItem} ブレーンHW	{AFactoredItem} ブレーンHW Type=2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	{MasterItem} ブレーンECU	{AFactoredItem} ブレーンECU1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	{MasterItem} ブレーンECU	{AFactoredItem} ブレーンECU2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	{MasterItem} ブレーンECU	{AFactoredItem} ブレーンECU1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	{CodeItem} S# Ver.1.1.再発	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	{CodeItem} S# Ver.1.1.再発	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.1.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	{CodeItem} S# Ver.1.1.再発	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.1.2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	{CodeItem} ECU 対応型別	{AFactoredItem} ブレーンECU1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22	{CodeItem} ECU 対応型別	{AFactoredItem} ブレーンECU2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	{CodeItem} ECU 対応型別	{AFactoredItem} ブレーンECU1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24	{CodeItem} S# Ver.2.1.再発	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25	{CodeItem} S# Ver.2.1.再発	{AFactoredItem} ブレーンS# Ver.2.1			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

シート1

ASD型別

戻る

印刷

共有

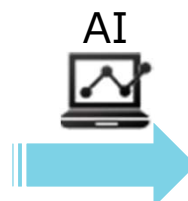
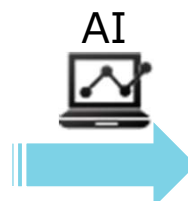
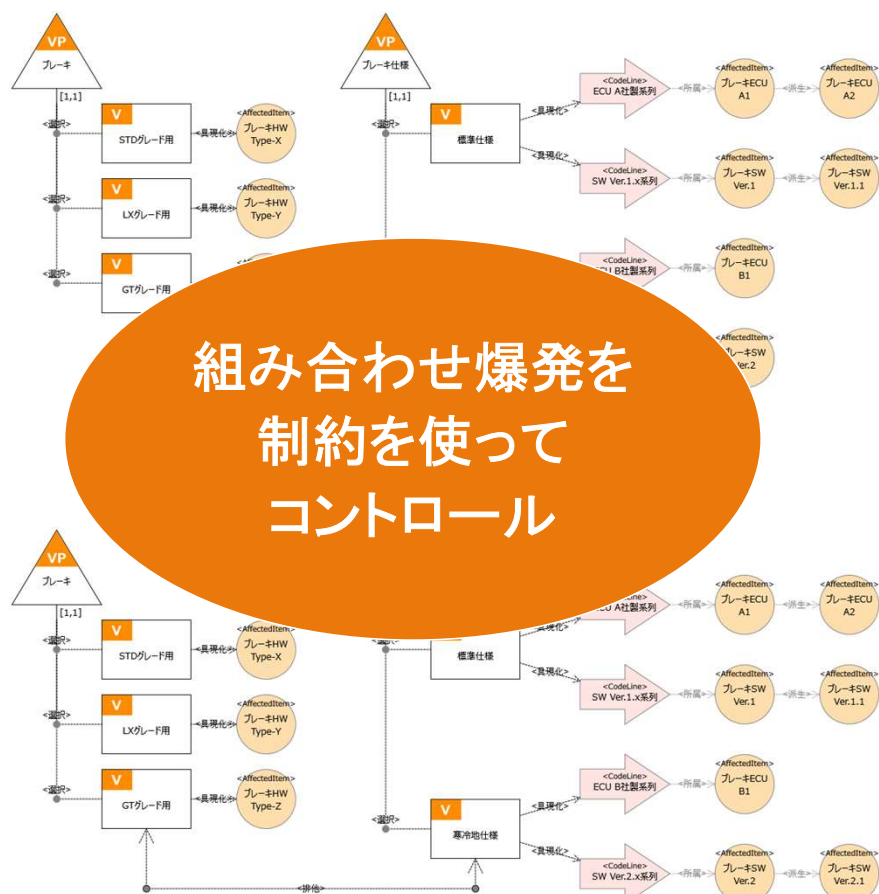
コメント

共有

「制約」によって”組み合わせ爆発”をコントロールする

モデル型部品表
(制約等の”関係性”を表現)

マトリクス型部品表
(選ばれた”結果だけ”を表現)

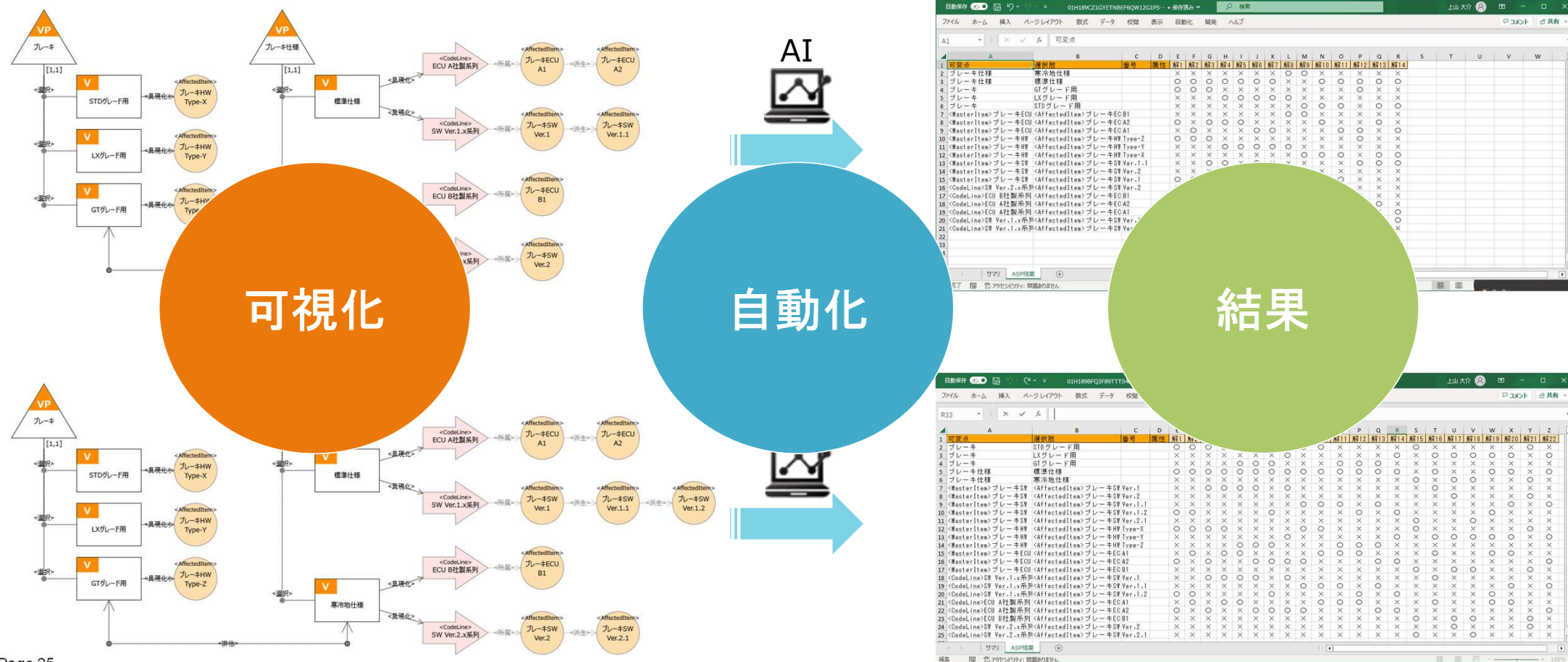


表では
組み合わせ爆発を
コントロール
できない

「制約」によって“組み合わせ爆発”をコントロールする

モデル型部品表
(制約等の“関係性”を表現)

マトリクス型部品表
(選ばれた“結果だけ”を表現)



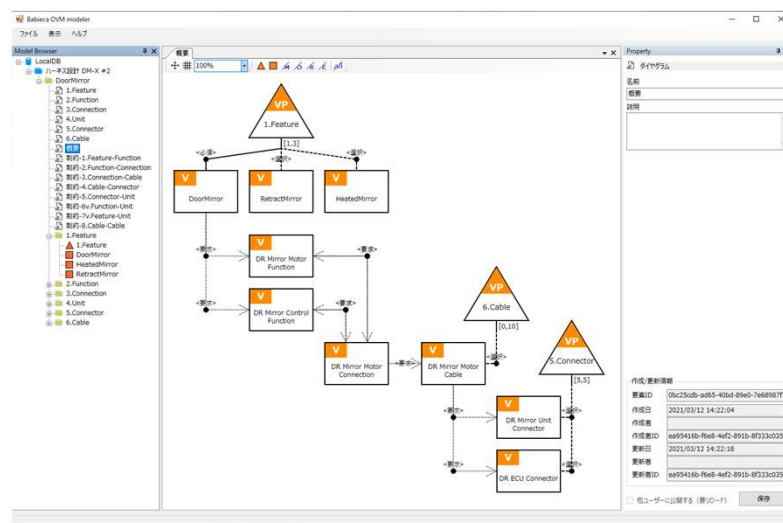
本日のデモで用いた製品：Babieca OVM/BoM

モデラーによって、プラットフォームや部品の関係（選択関係や制約関係 等）を可視化し、AIソルバーによって、「実現可能な組み合わせ」「最適な組み合わせ」を解く

プラットフォーム、パーツ



モデラー



AIソルバー



The screenshot shows the AI solver results window, which displays a table of combinations. The table has columns for various components (e.g., DoorMirror, RetractMirror, HeatedMirror) and rows representing different combinations. The cells contain 'X' or 'O' marks, indicating the feasibility of each combination. A lightbulb icon is positioned above the table, and a yellow arrow points from the modeler towards the solver.

いろいろな選択肢

制約やルール、暗黙知

可視化、データ化して集約

制約を満たす組み合わせ

最適な組み合わせ

後記

本書にて発表された内容は、以下の特許出願に基づいております：

- ・特願2021-141483
- ・特願2022-136404
- ・特願2022-169539

本書の内容に関するお問い合わせ先：

合同会社バビエカ

所在地：〒107-0061 東京都港区北青山2丁目7-13 プラセオ青山ビル3F

電話：03-6271-1837

URL：<https://www.babieca.co.jp>

お問い合わせ先：info@babieca.co.jp

株式会社CAD SOLUTIONS

所在地：〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町5-14 アルゴ日本橋ビル6F

電話：03-5623-5576

URL：<https://www.cad-solutions.co.jp>

お問い合わせ先：info@cad-solutions.co.jp



END