

2005年 JUSEパッケージ活用シンポジウム

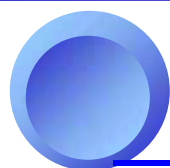
F M M設計要素展開と予測ツールによる 設計精度の向上

F M M：故障モードメカニズム(Failure Mode Mechanism)

アイシン精機株式会社

技術開発部門 車体系技術部 山崎 洋明

経営管理部門 TQM・PM推進室 花村 和男

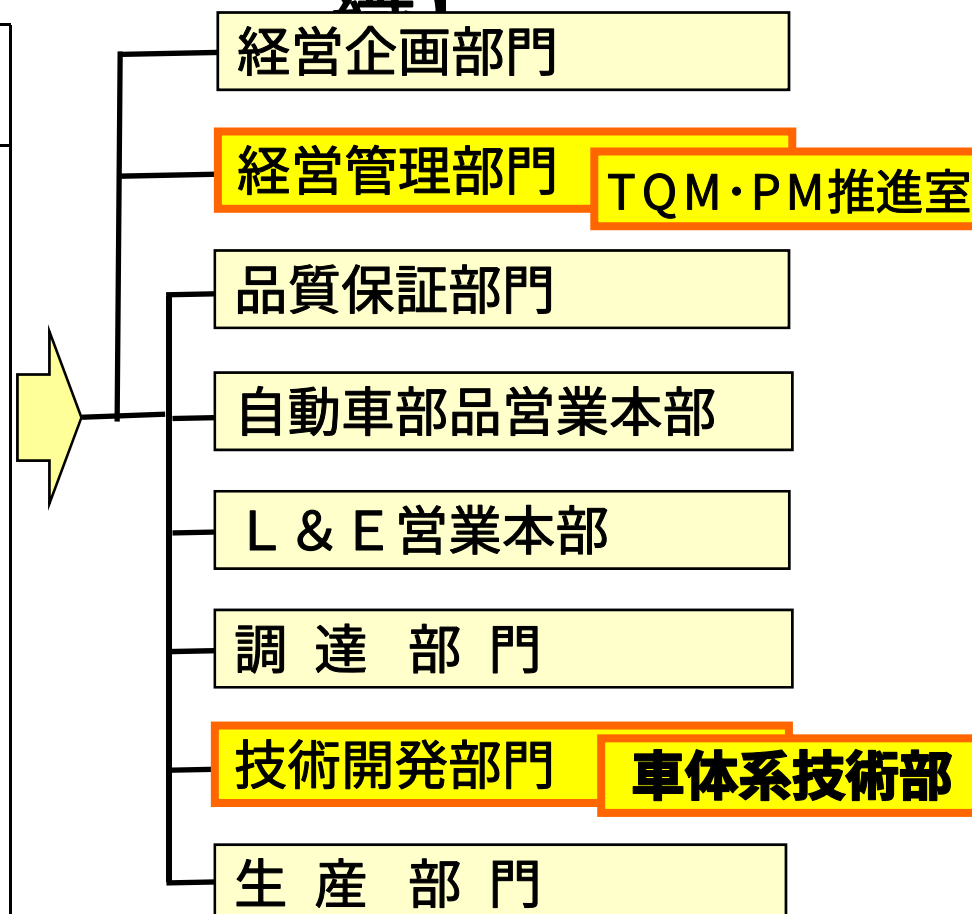


1. 会社の紹介

【会社概要】

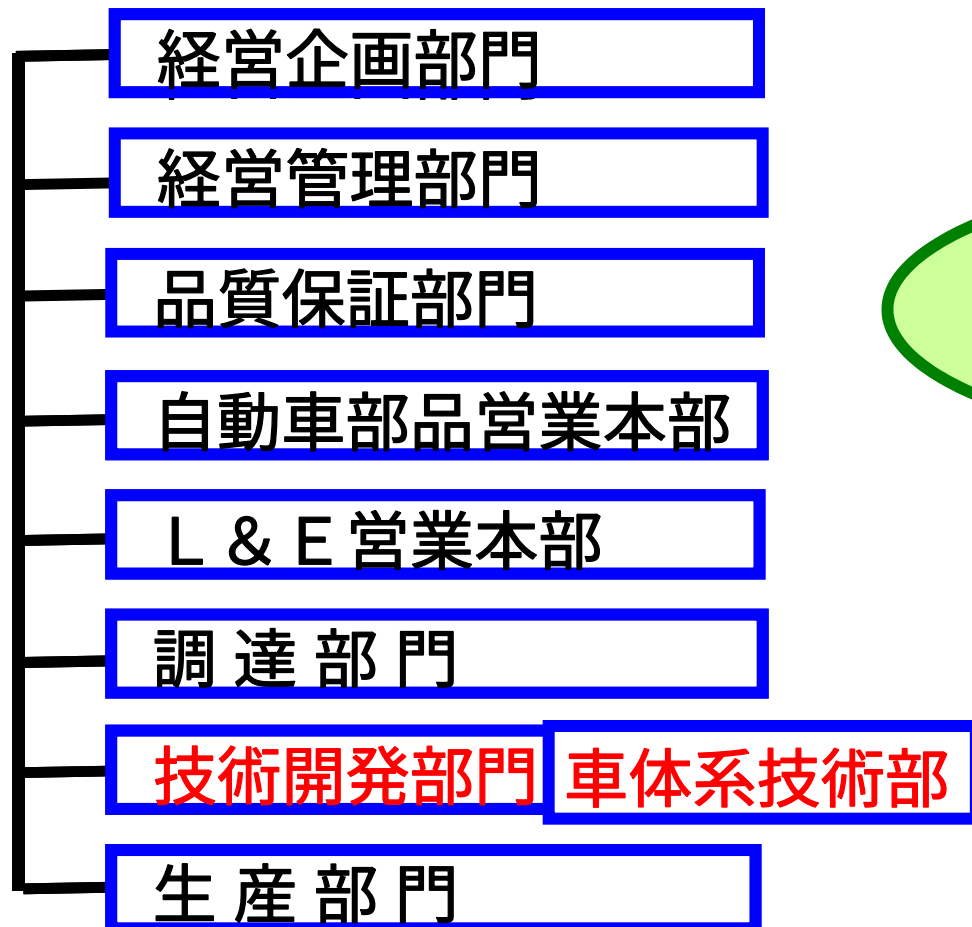
項 目	内 容
所在地	愛知県刈谷市 朝日町2-1
資本金	450億円
売上高	6,018億円
従業員数	10,900名
土地面積	9,155,000m ²
建物面積	745,000m ²
工場	11工場
事務/営業所	国内40ヶ所 海外3カ所
海外法人	30社

【組織】

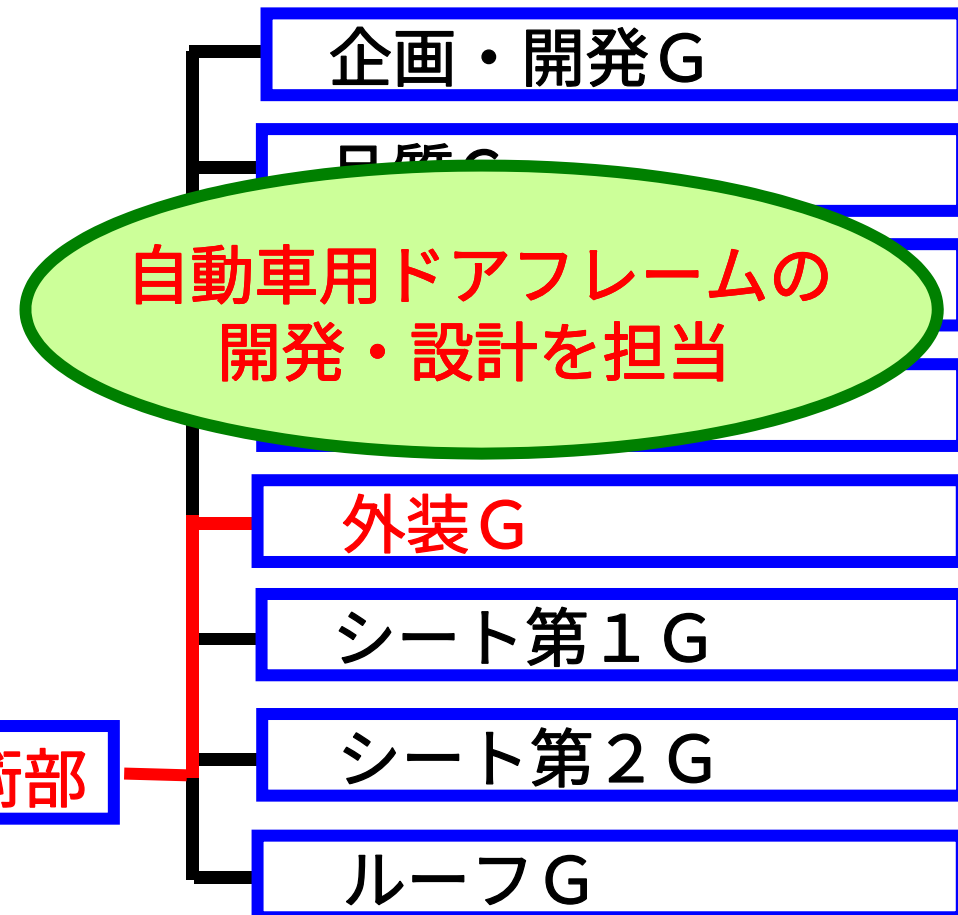


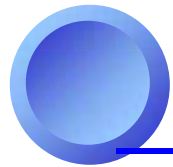
◇技術開発部門における私の担当分野

【全社組織】



【車体系技術部組織】





2. 背景①

開発期間短縮への取り組み

自動車産業は
規模事業

- ・シェア拡大が
収益の決め手

市場ニーズの
多様化

- ・製品ライフサ
イクルの短縮

開発期間短縮

(’97~)

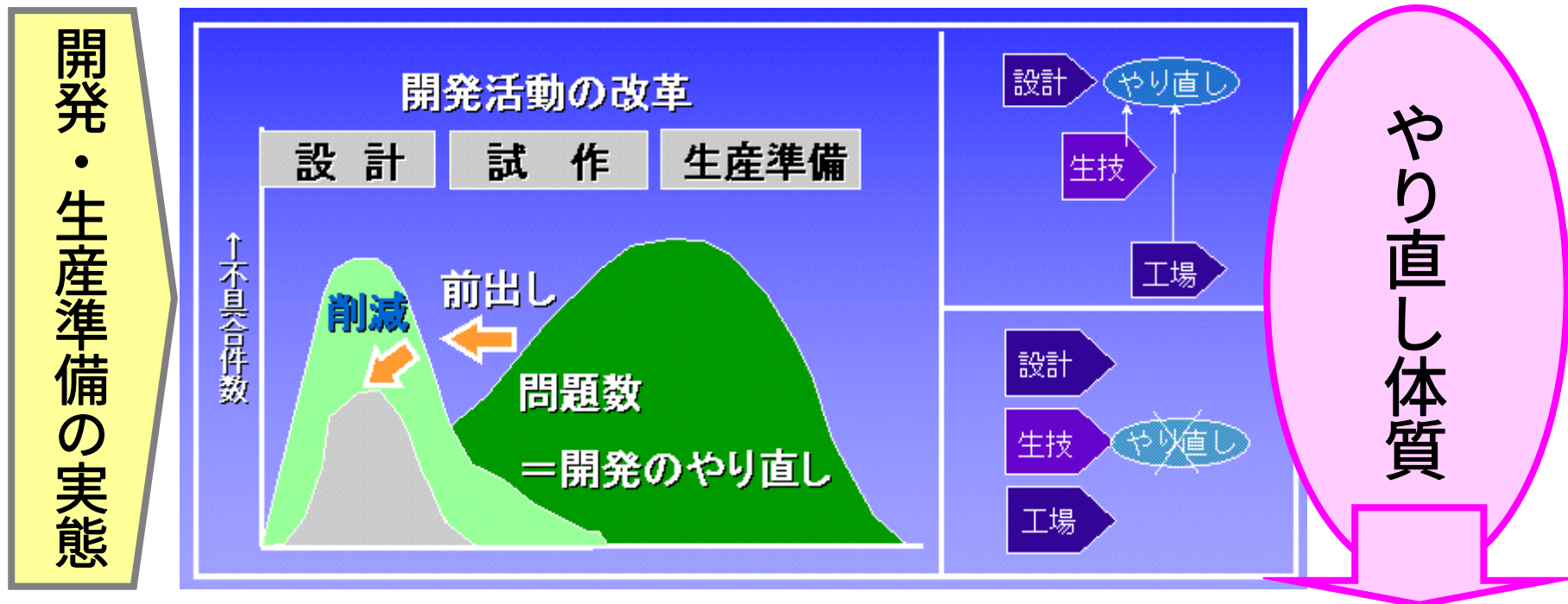
- ・計画/図面
の質向上
- ・型製作期間
の短縮
- ・開発費の
削減
- ・設備投資
の削減
- ・品質の
革新 など

■開発プロセス
の革新

■コンカレント
開発体制実現

2. 背景②

開発期間短縮の課題

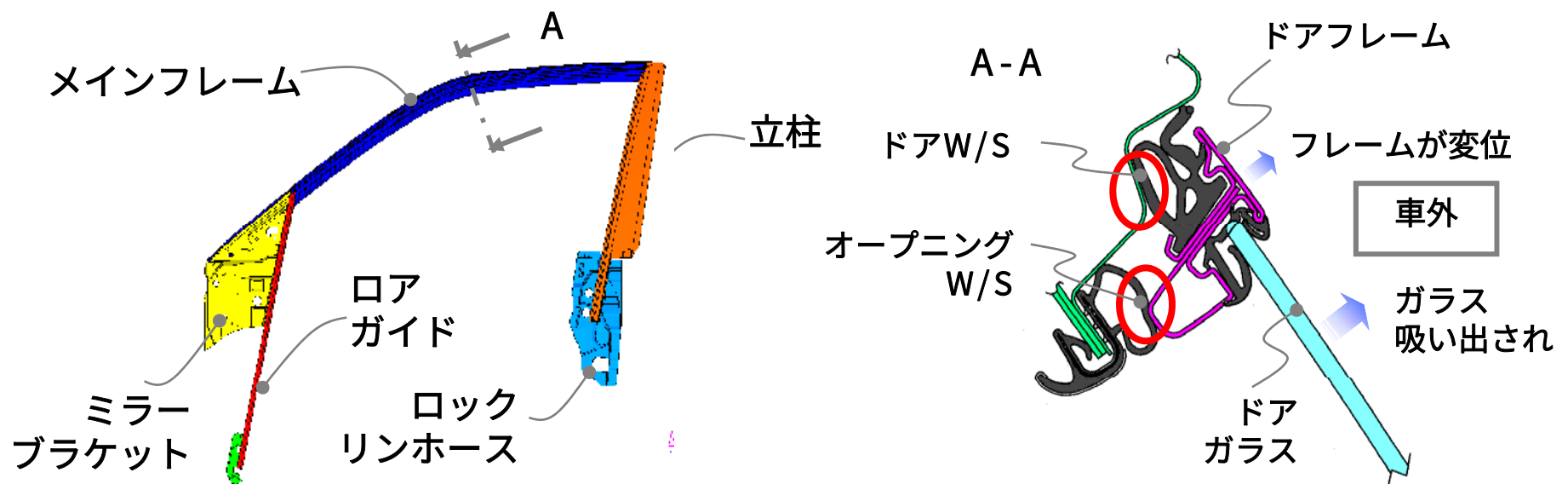


開発初期段階から品質をつくり込み、トラブルの未然防止を図ることが求められており、事前解析ツールの確立による設計精度向上が必要！

3. 研究テーマとねらい①

ドアフレームとは

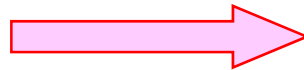
自動車のサイドドアの
 上半分を指すドアガラス枠



3. 研究テーマとねらい②

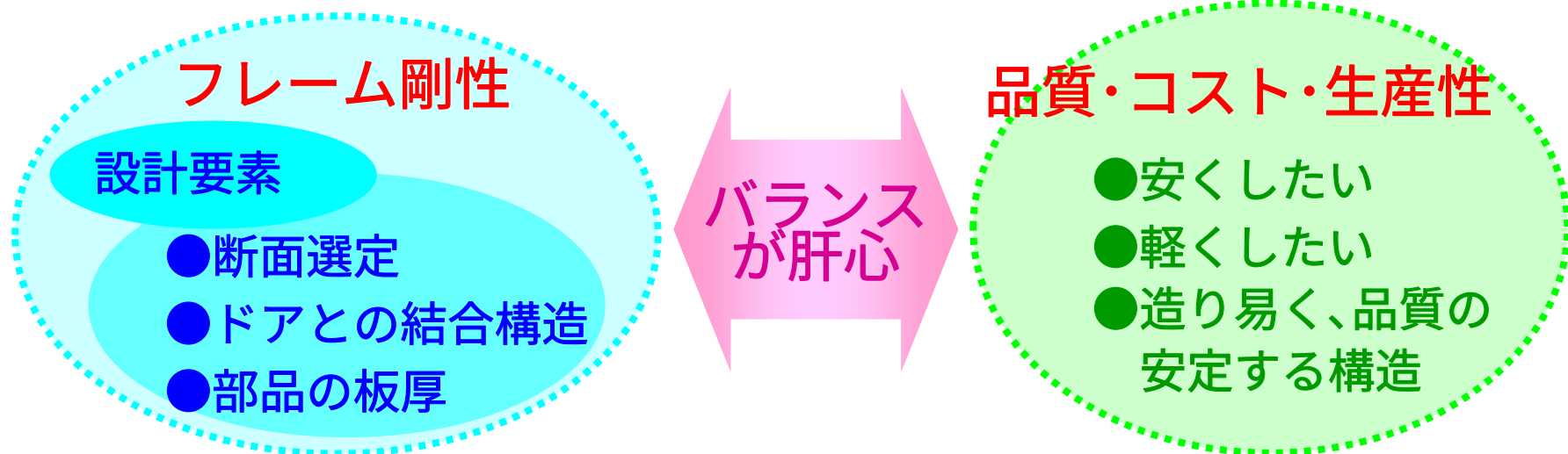
ドアフレームの主な機能

- ◇ガラス昇降ガイド
- ◇グリーンハウス意匠性
- ◇シール機能



走行時の吸い出されによる
W/Sのシールアウトを防
 止できる**剛性**が必要

ドアフレーム設計技術のポイント



3. 研究テーマとねらい③

●ドアフレームの開発動向

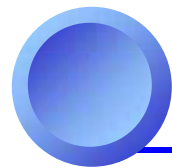
- ◇開発期間の更なる短縮⇒試作型レス活動の展開
 - ⇒やり直しチャンスが少ない
 - ⇒一発合格(性能達成)が要求される



開発の初期段階にて、剛性を達成できる構造の提案が必要



実業務での開発初期段階の設計精度向上をねらいに
「フレーム剛性簡易予測ツールの開発」の研究!!



4. 研究の指針とアプローチ

4.1 研究の指針

■従来は試作で発生していた問題を潰し込んでいたものを、試作を行わずに予測し潰し込むためには

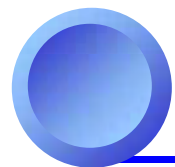
●過去の開発で得られたノウハウの十分な活用

- ・既存の設計資料
- ・既存のデータ

■開発の初期段階から品質をつくり込み、トラブルの未然防止をはかるためには

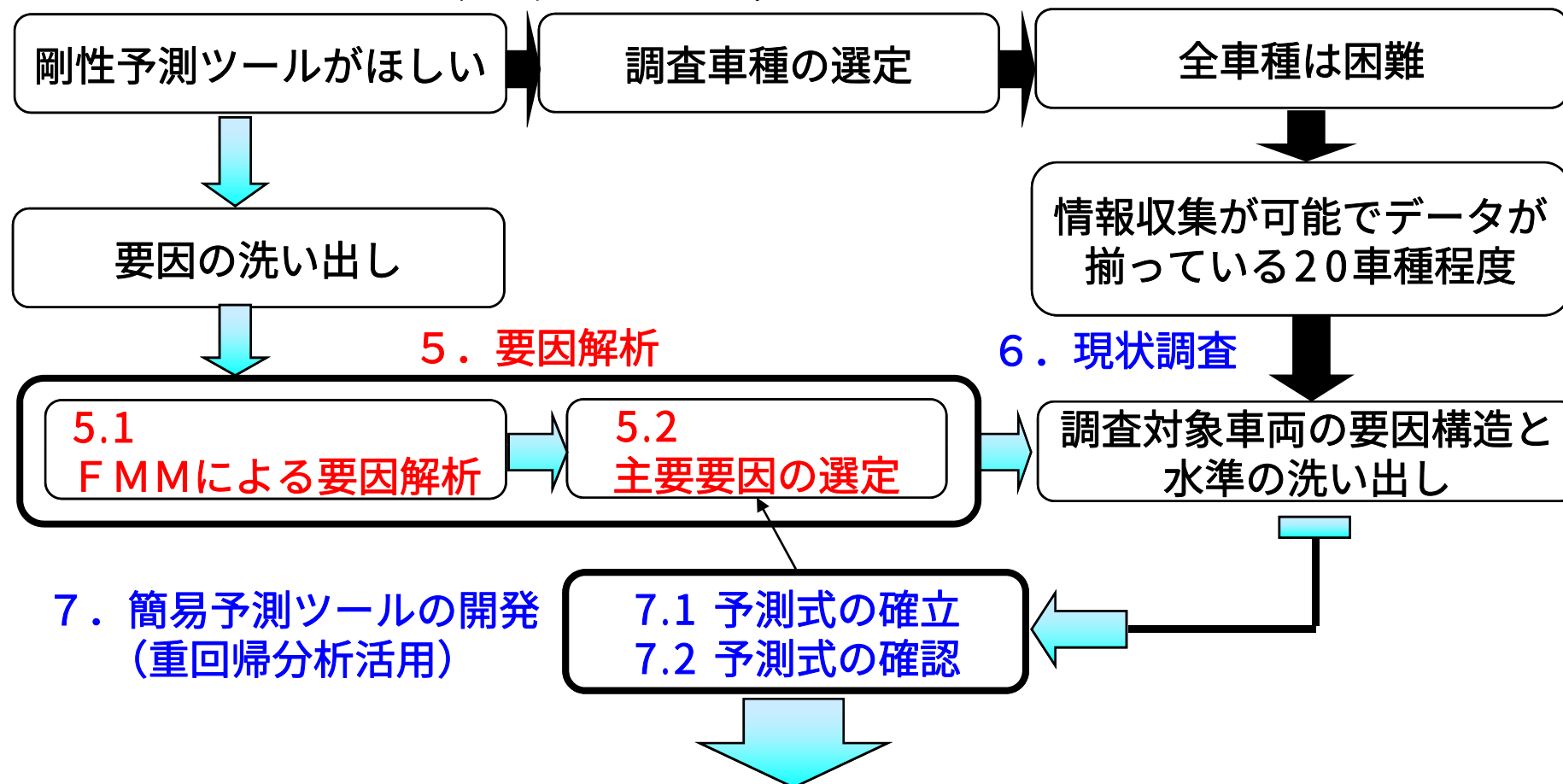
●トラブルの事前解析に使われる手法の有効活用

- ・FMEA再構築としてのFMMの研究成果の反映



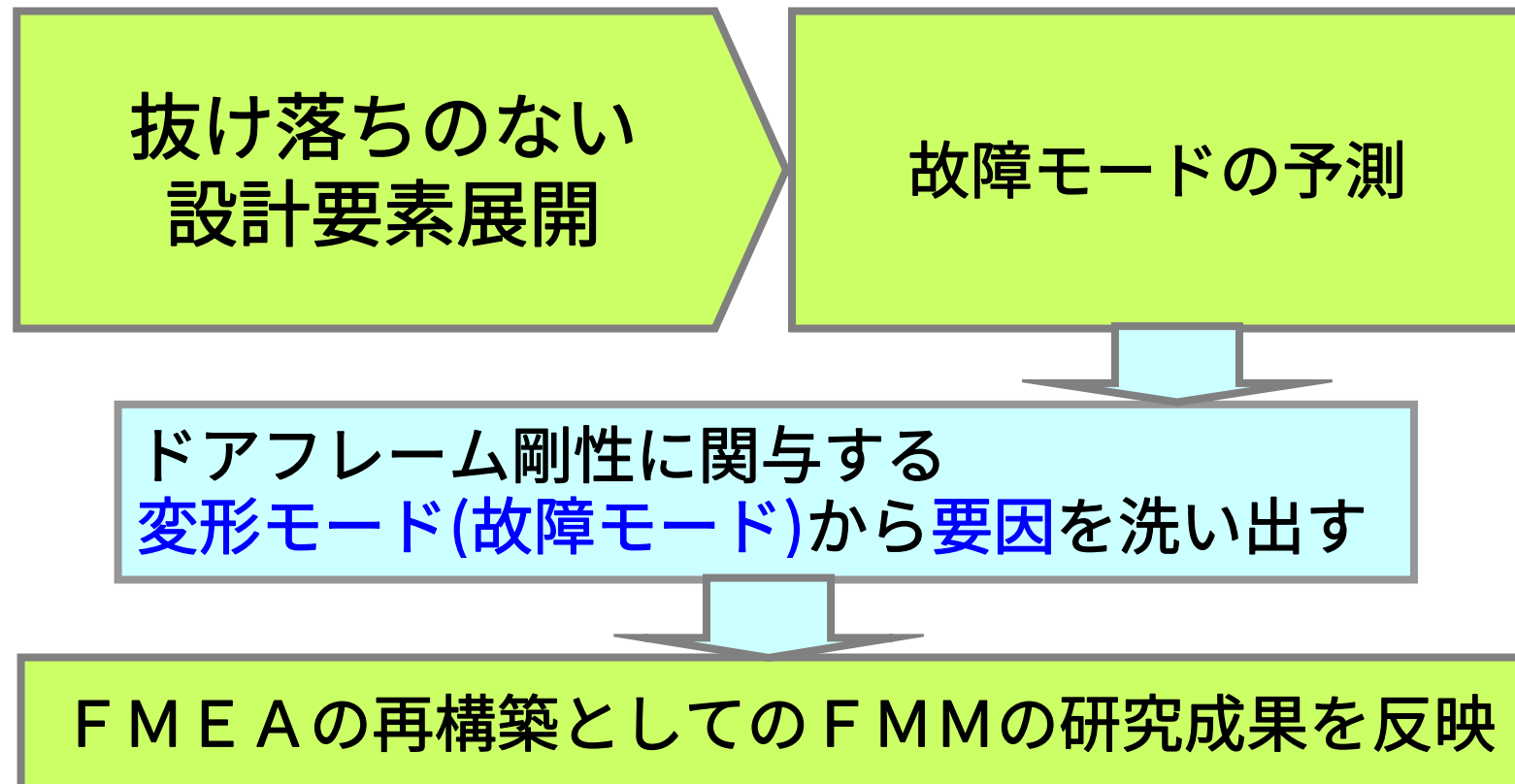
4. 研究の指針とアプローチ

4.2 アプローチ



開発初期段階の情報(ドアデザイン、サイズ、目標剛性)から最適な構造を提案できる

5. 要因解析

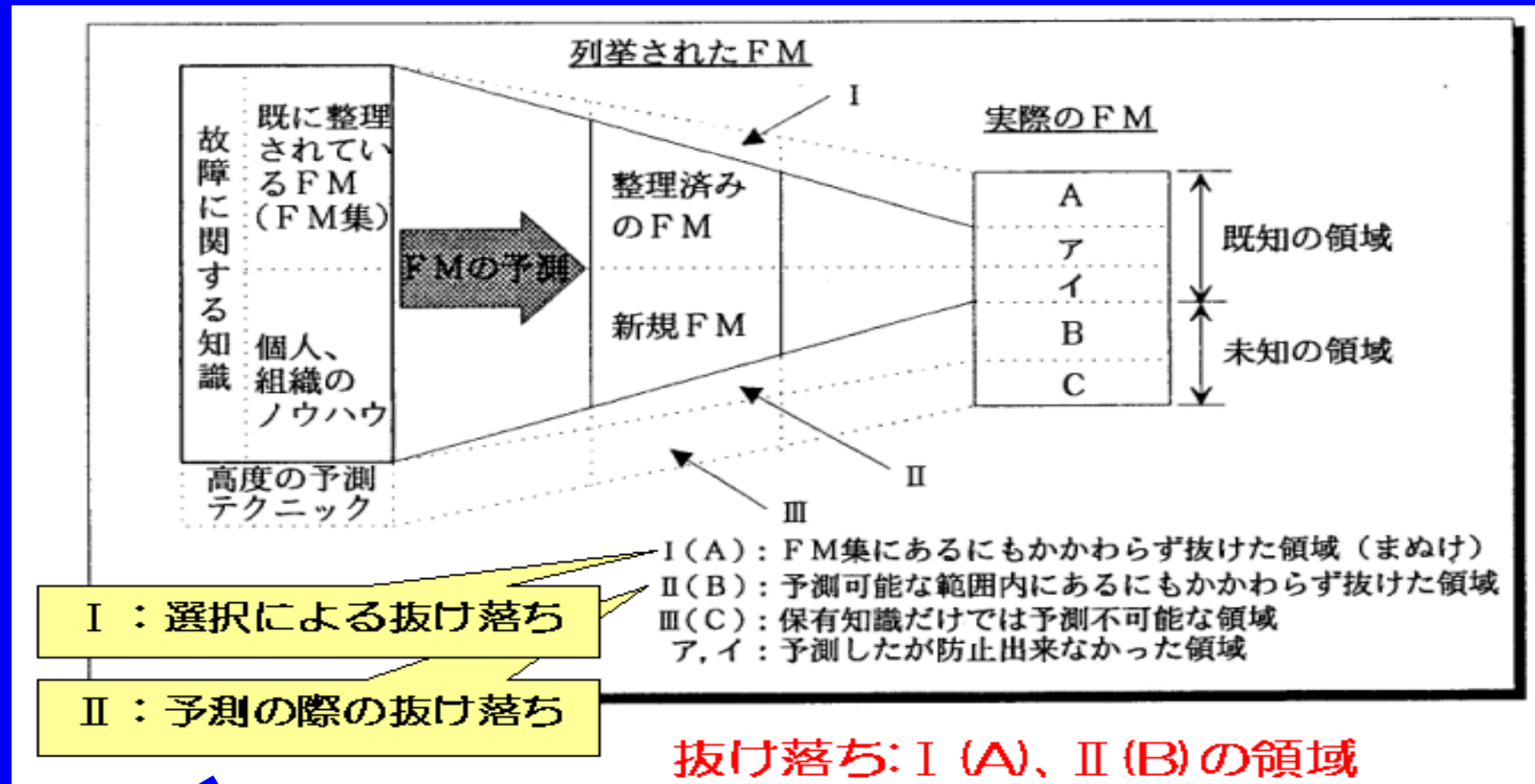


東京大学 鄭 敬勲、飯塚悦功

設計における予測的試行錯誤法としてのFMEAの再構築

日本品質管理学会，品質誌 VOL.26,NO4 & VOL.27.NO4より

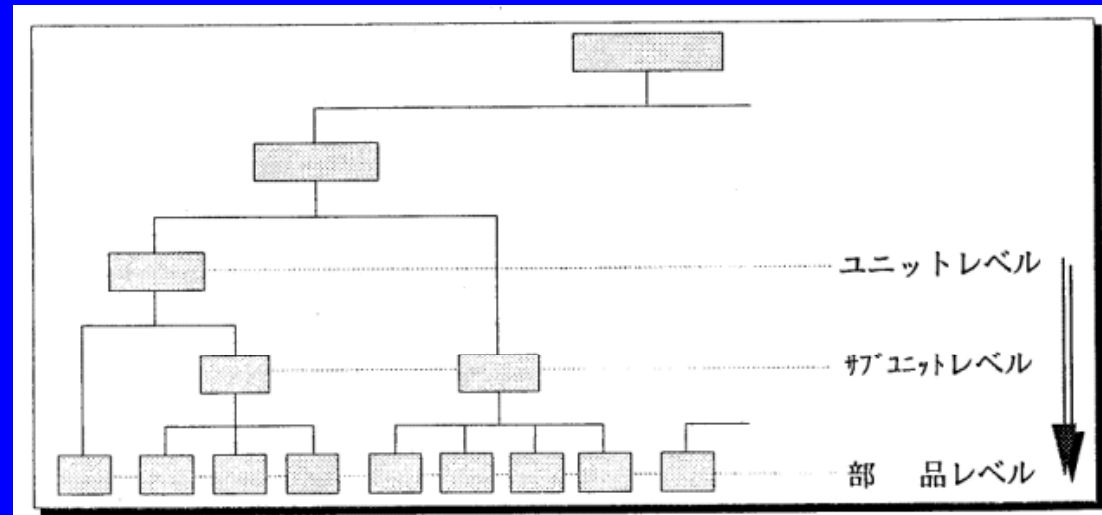
予測の際に起こる抜け落ちの概念



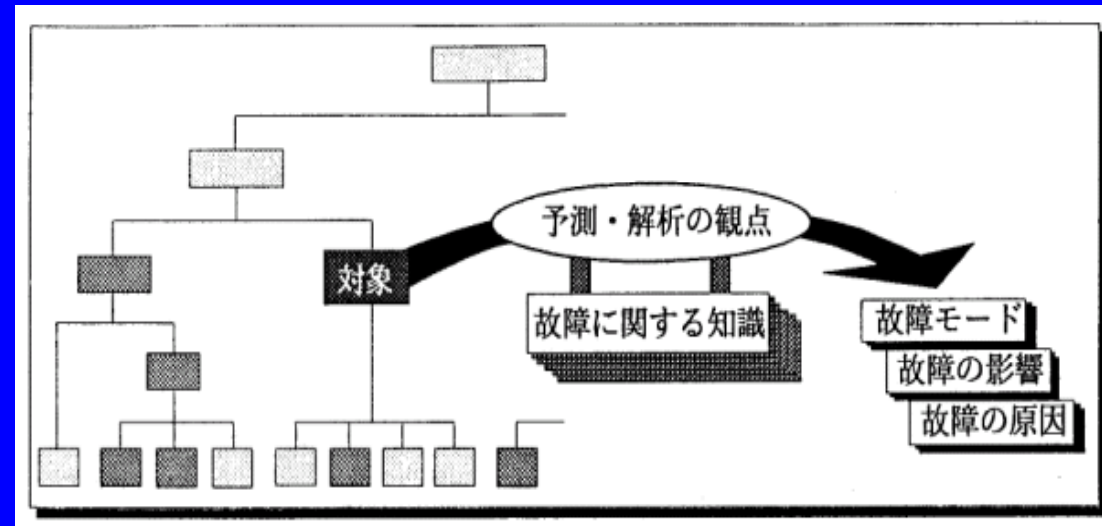
- ①対象の把握・理解不十分
- ②制約の考慮不足
- ★ ③故障発生メカニズムの不明確

効果的な F M E Aのための重要概念

(1)「階層」



(2)「連想」

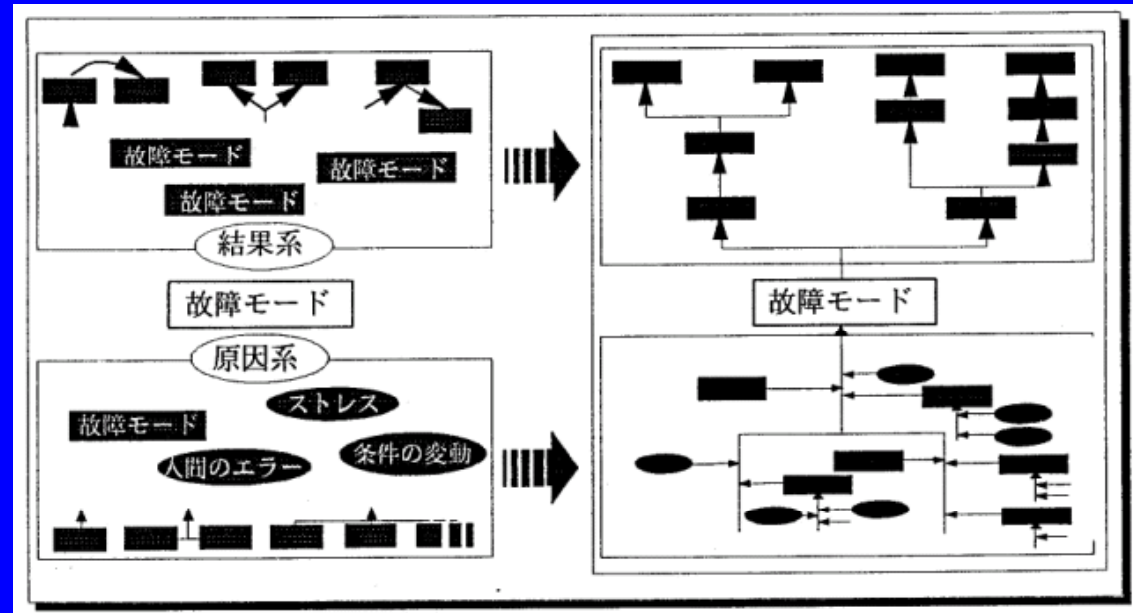


故障の観点：性質、発生部位、発生状況

効果的な F M E A のための重要概念

「発生・影響
メカニズム」

F M M 図

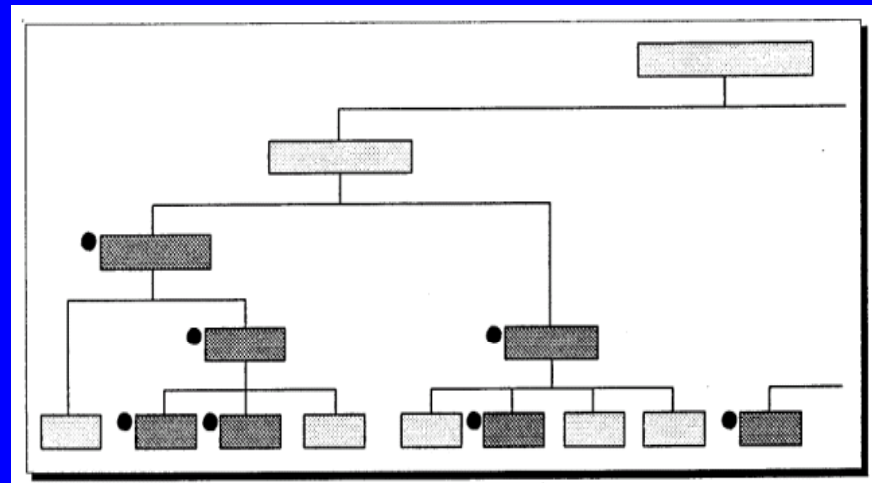


「標準化」

「重点指向」

F M E A										ページ /	
設計責任者:										FMEA No.	
参加者:											
番号	アイテム	故障モード	故障の影響	影響度	発生原因	発生頻度	管理項目	報告事項	責任/期限	再評価	
			1次	2次	3次						

Master FMEA Sheet										ページ /	
設計責任者:										西 京	
参加者:											
番号	アイテム	故障モード	故障の影響	影響度	発生原因	発生頻度	管理項目	報告事項	責任/期限	再評価	
			上位レベル	システム							



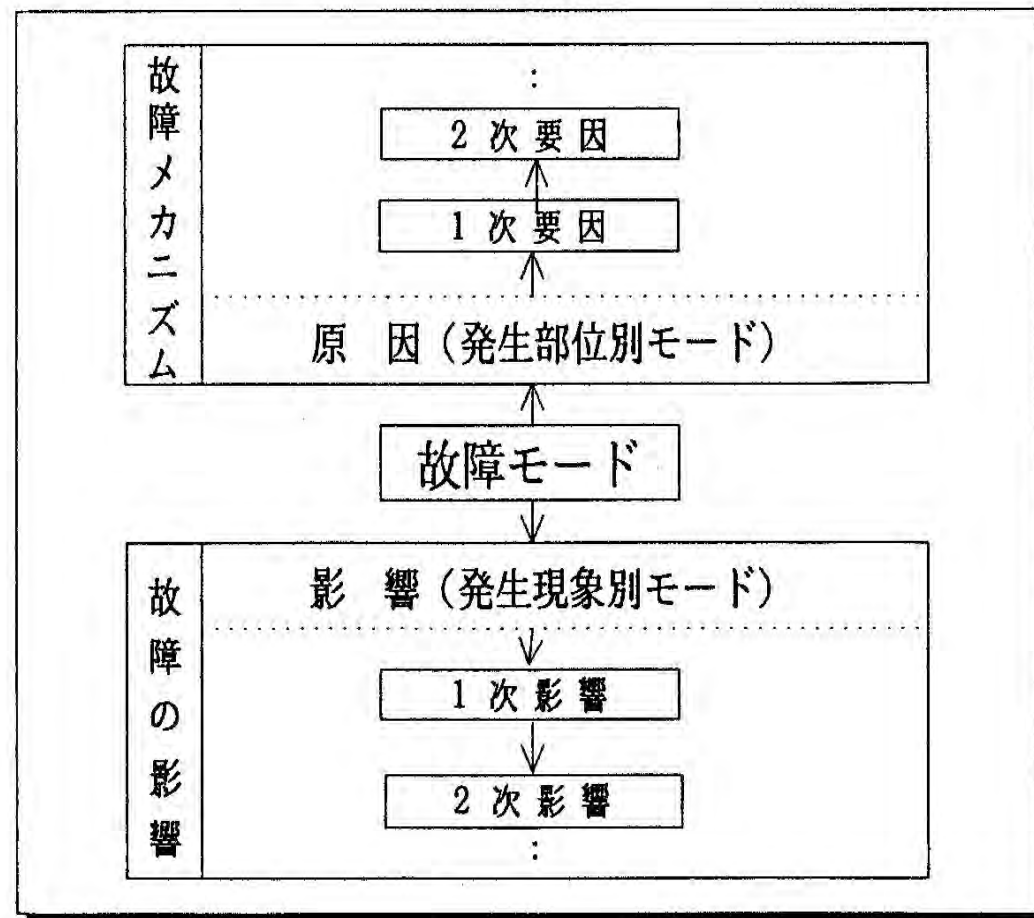
5. 要因解析

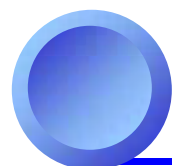
5.1 FMMによる要因解析①

【FMM図】

故障モードを中心に、
要因系と結果系に分け
その連鎖を階層的に
表したもの

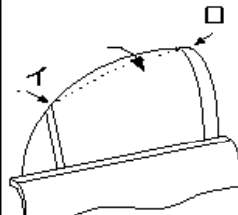
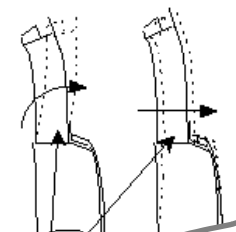
しかし、
結果系と原因系が交絡
するため、うまく整理
できなかった





5. 要因解析

5.1 FMMによる要因解析②

①荷重部がたわむ (変位する) メイン フレームのたわみ  変形モード②、③に よって変位・ねじれ る拘束点イ、ロに よって支持された面 持ちはり(メンフレ)	メインフレームの断面剛性			
	1.5～3コーナーまでのメインフレームの長さ			
	メインフレームのデザイン (曲がり具合(オフセット量))			
	メインフレームのシームスポットピッチ			
	②メンフレ支持点 1.5コーナーのたわ み(変位量)、ねじれ	1.5コーナーの高さ	メインフレームのデザイン (曲げの有無等)	
		1コーナー根元の長さ		
	 変形モード④によっ て変位・回転する拘 束点へによって支持 された片持ち板(三 角)	ベルト上のミラー部 断面剛性	ベルト上での部品構 成・構造	各ドアフレームBKT部品の形状
			ベルト上でのドア S/A結合剛性	各ドアフレームBKT部品板厚
				メインフレームの断面剛性
				ロアフレームの断面剛性
			溶接位置	
			溶接ピッチ	
			溶接点数	
			溶接板組み	
			断面上の溶接位置	
			溶接長	
	④ベルト部の折れ、 変位量	ベルト下でのドア断 面剛性	ベルト下での部品構 成・構造	各ドアフレームBKT部品の形状・構成
				各ドアフレームBKT部品板厚
				ドアパネル部品の形状
				ドアパネル部品の板厚
				ロアフレームの断面剛性
			ベルト下でのドアパ ネルとの結合剛性	溶接位置
				溶接ピッチ
				溶接点数

マトリックス図法で、故障発生現象と発生部位を合体

5. 要因解析

5.2 主要要因の選定①

既存の評価結果から効果の大きい要因や、設計的に意味の大きい要因を選定

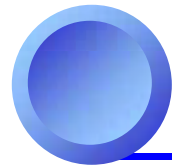
FMM設計要素展開
マトリックス図表

(1) 要因のランク付け

(2) 説明変量の採用可否決定

(3) 要因の要約案の整理

(4) 説明変量(因子)の候補案の選定



5. 要因解析

5.2 主要要因の選定②

※今までの解析例の結果からランク付け
(A: 剛性寄与5%以上, B: 1~5% : B, C: 1%以下) 尚、赤字は予測

※直近車両間の構造特性
(A: 各車両によって異なる, B: 2~4タイプに分類可能, C: 各車両構造はほぼ統一)

③要因の査定→説明変量への落とし込み(案)

		要因ランク		説明変量採用可否 (Cランクを含む要因はDrop)	要因の要約案	
		剛性効果結果による	構造面から			
①荷重部がたわむ(変位する)	②メインフレームのたわみ(変位量), ねじれ	メインフレームの断面剛性	A	B	○	同種要因とまとめる
		1.5~3コーナーまでのメインフレームの長さ	A	A	○	単独変量
		メインフレームのデザイン (曲がり具合(オフセット量))	B	A	○	単独変量
		メインフレームのシームスポットピッチ	B	C	Drop	Drop
		1.5コーナーの高さ	B	A	○	単独変量
		1コーナー根元の長さ	B	A	○	単独変量
		メインフレームのデザイン (曲げの有無等)	A	B	○	単独変量
		ベルト上での部品構成・構造	B	B	○	まとめてタイプ分け
		メインフレームの断面剛性	B	B	○	同種変量とまとめる
		ロアフレームの断面剛性	B	B	○	同種変量とまとめる
④ベルト部のねじれ, 変位量	③ベルト上のミラー部断面剛性	ベルト上でのロアS/A結合剛性	B	A	○	1コーナー構造としてまとめてタイプ分け
		溶接位置	B	B	○	
		溶接ピッチ	C	A	Drop	
		溶接点数	B	B	○	
		溶接板組み	C	B	Drop	
		断面上の溶接位置	C	B	Drop	
		溶接長	C	B	Drop	
		ベルト下での部品構成・構造	B	B	○	まとめてタイプ分け
		各ドアフレームBKT部品の形状・構成	B	B	○	同種変量とまとめる
		各ドアフレームBKT部品の板厚	B	B	○	同種変量とまとめる
③ベルト下のドアパネルとの結合剛性	③ベルト下でのドアパネルとの結合剛性	ドアパネル部品の形状	C	B	Drop	Drop
		ドアパネル部品の板厚	B	B	○	同種変量とまとめる
		ロアフレームの断面剛性	B	B	○	同種変量とまとめる
		溶接位置	B	B	○	
		溶接ピッチ	C	A	Drop	
		溶接点数	B	B	○	
		溶接板組み	C	B	Drop	
		断面上の溶接位置	C	B	Drop	
		溶接長	C	-	Drop	
		③ベルト下でのドアS/A結合剛性	③ベルト下でのドアS/A結合剛性	溶接位置	B	B
溶接ピッチ	C			A	Drop	
溶接点数	B			B	○	
溶接板組み	C			B	Drop	
断面上の溶接位置	C			B	Drop	
溶接長	C			B	Drop	
ベルト部での部品構成・構造	C			C	Drop	Drop
各ドアフレームBKT部品の形状・構成	C			B	Drop	Drop
各ドアフレームBKT部品の板厚	C			B	Drop	Drop
メインフレームの断面剛性	C			B	Drop	Drop
③ベルト部でのドアパネルとの結合剛性	③ベルト部でのドアパネルとの結合剛性	ロアフレームの断面剛性	C	B	Drop	Drop
		ドアパネル部品の形状	C	C	Drop	Drop
		ドアパネル部品の板厚	C	B	Drop	Drop
		溶接位置	B	B	○	
		溶接ピッチ	C	-	Drop	

フレームの断面剛性はねじり剛性(Ix+Iy)を変量とする
立柱の断面剛性は根元の固定端での量とする

説明変量の候補案

- メインフレームの断面剛性
- メインフレームの長さ
- 2コーナーメインフレームのデザイン
- 1.5コーナーの高さ
- 1コーナー根元の長さ
- メインフレームのデザイン (曲げの有無)
- 1コーナー構造のタイプ
- ロアガイドの断面剛性

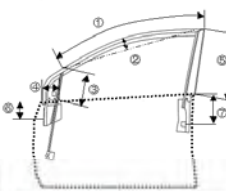
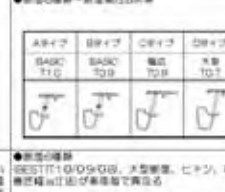
部品の板厚

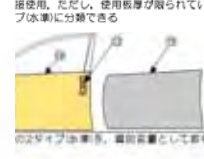
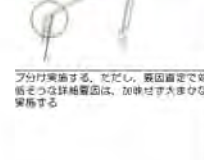
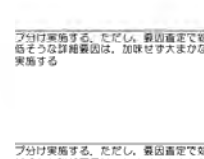
- ミラー-BKTの板厚
- 4コーナー-BKTの板厚
- ピンジサイドパネルの板厚
- インナパネルの板厚
- アウタパネルの板厚

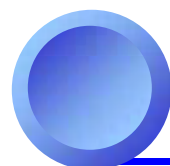
主要要因
20因子
抽出

6. 現状調査

主要要因の選定により絞込んだ要因に着目し調査車両の
 要因構造と水準(タイプ)分けを行い、24車種データ収集

分類	要因(説明・図)	要因の性質	詳細・取扱い方法	水準(タイプ分け)
トアサイズ	① 15～3コーナーのメインフレームの長さ	量的要因		
	② 2コーナー部のメインフレームオフセット量	量的要因		
	③ 15コーナーの高さ	量的要因		
	④ 1コーナー根元の長さ	量的要因		
	⑤ 3コーナー高さ	量的要因		
	⑥ アッパーヒンジの高	量的要因		
構造特性	⑦ ロック位置	量的要因		
	⑧ メンフレ構造特性	量的要因		
	⑨ 立柱構造特性	量的要因		
	⑩ ロアサイド構造特性	量的要因		

	●取厚3水準	Aタイプ: T1.6, Bタイプ: T1.4, Cタイプ: T1.2
	●取厚2水準	Aタイプ: T1.4, Bタイプ: T1.2
	●取厚1水準	Aタイプ: T1.4, Bタイプ: T1.2
	●取厚4水準	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●取厚5水準	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●取厚6水準	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●構造3タイプ(水準)	Aタイプ: T1.6, Bタイプ: T1.4, Cタイプ: T1.2
	●構造2タイプ(水準)	Aタイプ: T1.4, Bタイプ: T1.2
	●構造1タイプ(水準)	Aタイプ: T1.4, Bタイプ: T1.2
	●構造4タイプ(水準)	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●構造5タイプ(水準)	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●構造6タイプ(水準)	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●ロー付結合タイプ→3タイプ(水準)	Aタイプ: T1.6, Bタイプ: T1.4, Cタイプ: T1.2
	●ロー付結合タイプ→2タイプ(水準)	Aタイプ: T1.4, Bタイプ: T1.2
	●ロー付結合タイプ→1タイプ(水準)	Aタイプ: T1.4, Bタイプ: T1.2
	●ロー付結合タイプ→4タイプ(水準)	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●ロー付結合タイプ→5タイプ(水準)	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6
	●ロー付結合タイプ→6タイプ(水準)	Aタイプ: T0.6, Bタイプ: T0.6, Cタイプ: T0.7, Dタイプ: T0.6



6. 現状調査

■調査車両の要因構造と水準の洗い出し

要因20因子に対して，24車種のデータ収集

分類	要因(説明記載)	変量の性質	データサンプル車両											
			740N	305N	290N	970T	870T	681N	500N	480N	329N	312N	300N	297N
①	15～3コーナーのメインフレームの長さ	量的変量 (mm)	1013	1030	1039	977	1034	1203	1013	1034	960	1000	1003	
	2コーナー部のメインフレームの長さ	量的変量												

	フレーム剛性	メンフレ長さ	メンフレオフセット	1.5コーナーの高さ	1コーナー根元幅	3コーナー高さ	アップバーヒンジ位置	ロック位置	メンフレ断面剛性	立柱断面剛性	ロアガイド断面剛性	ミラーBKT	4コーナーBKT	ヒンジサイドパネル	インナパネル	アウトパネル	1コーナーのデザイン	1コーナー結合構造	1コーナーロー付け	4コーナー結合構造	4コーナーロー付け
740N	58.0	1013	99	169	162	452	118	224	####	167249	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2
305N	55.5	1030	94	160	186	441	144	236	3569	245043	1	3	2	2	2	1	1	3	3	1	2
290N	42.5	1039	108	176	172	490	111	256	3569	234127	2	3	2	2	2	2	1	3	2	2	2
970T	47.6	977	110	171	172	461	160	276	3569	220752	1	3	2	2	2	2	1	3	3	1	3
870T	39.2	1034	116	181	168	472	111	256	3569	234127	2	3	2	2	2	2	1	3	3	2	3
681N	56.0	1203	90	163	25	483	110	233	2484	109099	4		2	2	2	3	3	6	2	2	2
500N	41.9	1013	87	264	108	553	110	211	2783	154444	1	1	1	1	1	3	2	3	1	1	2
480N	42.0	1034	89	242	111	486	103	217	2783	145942	1	2	2	1	2	2	2	3	2	1	2
329N	43.5	960	88	220	148	436	100	238	2783	124308	2	3	2	2	2	3	2	2	1	3	1
312N	61.6	1000	73	211	121	442	100	233	2484	122621	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1
300N	52.9	1003	91	182	199	479	118	225	2783	147943	1	1	1	1	1	1	1	4	1	2	1
297N	39.1	1020	86	202	105	451	118	237	2783	102256	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	1
191N	47.9	936	106	244	158	508	136	294	2783	113635	2	3	3	1	2	4	2	3	1	5	1
186N	40.5	1006	144	223	137	515	146	244	2783	119128	2	3	2	2	2	1	2	3	1	4	1
140N	45.8	963	80	217	126	451	102	233	2783	107672	1	3	2	2	2	3	2	2	2	3	1
013N	51.2	1005	110	203	113	490	126	297	2783	115325	1	2	2	1	2	2	2	3	1	1	1
910T	54.7	958	108	178	173	456	118	260	2783	137441	2	3	2	2	2	3	1	3	2	2	1
860T	57.7	903	72	286	25	450	120	278	2783	120818	4		2	1	2	2	3	6	2	3	1
325N	57.8	958	144	246	137	483	127	275	2947	141163	2	3	2	2	2	2	2	3	1	4	1
770N	60.2	1019	86	192	202	427	141	267	2390	117925	3	2	2	1	1	3	1	3	1	1	2
900T	53.3	1015	100	180	208	462	98	248	2390	119465	3	2	2	1	2	3	1	3	1	1	1
890T	44.9	1020	104	220	130	446	102	260	1736	110833	2	3	2	2	2	4	2	3	1	4	1
450T	42.6	936	84	182	170	414	156	278	1984	69472	2	3	3	2	2	4	1	2	1	5	1
350T	40.9	905	102	192	168	426	106	280	1736	82998	2	3	2	2	2	4	1	5	1	4	1
740N	58.0	1013	99	169	162	452	118	224	####	167249	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2

② 4コーナロー付け構造	質的変量	Bタイプ	Bタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Cタイプ	Bタイプ	Bタイプ	Bタイプ	Aタイプ	Aタイプ	Aタイプ
フレーム剛性値(実測値)		580	555	425	476	392	560	419	420	435	616	529

7. 簡易予測ツールの開発

7.1 予測式の確立

重回帰分析による予測式を確立し、
最適な構造を提案できる簡易予測
ツールの開発を試みた

【予測式の確立のプロセ

- (1)重回帰分析トライ／生データ
- (2)重回帰分析トライ／因子・水準のスリム化
- (3)重回帰分析トライ／サンプル数の補充
- (4)重回帰分析トライ／変数変換
- (5)重回帰分析トライ／予測式の確立

7.1 予測式の確立

(1)重回帰分析トライ／生データ

収集データでそのまま回帰式トライ(StatWork)

因子数(20)に対してサンプル数(24車種)は少ない為、エラー

とりあえず、**ダミーデータ(同データ繰り返し)**でトライ

逐次変数選択

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	Rk
フレーム剛性	6.944	0.999	0.997	0.001
R ²	0.992	残差自由度	残差標準偏差	
		24	0.538	

vNo	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
0	定数項	148.778	141.834	490.2134	-459.067
3	メンフレ長さ	194.768	187.824	649.1672	0.162
4	メンフレオフセット	0	-6.944	-7060342425	+
5	1.5コーナーの高さ	289.889	282.946	977.9314	0.727
6	1コーナー根元幅	230.812	223.868	773.7449	0.528
7	3コーナー高さ	10.927	3.983	13.7679	-0.05
8	アッパーヒンジ位置	42.018	35.074	121.2238	0.359
9	ロック位置	240.657	233.713	807.7714	0.559
10	メンフレ断面剛性	14.501	7.558	26.1206	-0.001
11	立柱断面剛性	14.807	7.863	27.1762	0
12	ロアガイド断面剛性	0	-514.897	-999	共線性有
ミラーBKT		413.871	406.927	468.8138	
13	c1				0
	c2				-35.6
	c3				-56.17
	c4				10.586
14	4コーナーBKT	0	-69.568	-999	共線性有
ヒンジサイドパネル		211.107	204.163	705.6386	
15	c1				n
	c2				18.844
16	インナパネル	47.228	40.284	139.2302	
	c1				0
	c2				25.863
17	アウタパネル	0	-6.944	-2.20618E+11	共線性有
18	1コーナーのデザイン	0	-200.584	-999	共線性有
19	1コーナー結合構造	0	-457.189	-999	共線性有
10コーナー付け		217.013	210.07	369.027	
20	c1				0
	c2				15.819
	c3				39.448
4コーナー結合構造		194.123	187.179	161.7347	
21	c1				0
	c2				7.291
	c3				11.268
	c4				-12.297
	c5				-25.804
4コーナーロー付け		621.94	614.996	1062.7907	
22	c1				0
	c2				-1.729
	c3				-30.416

寄与度は0.977だが

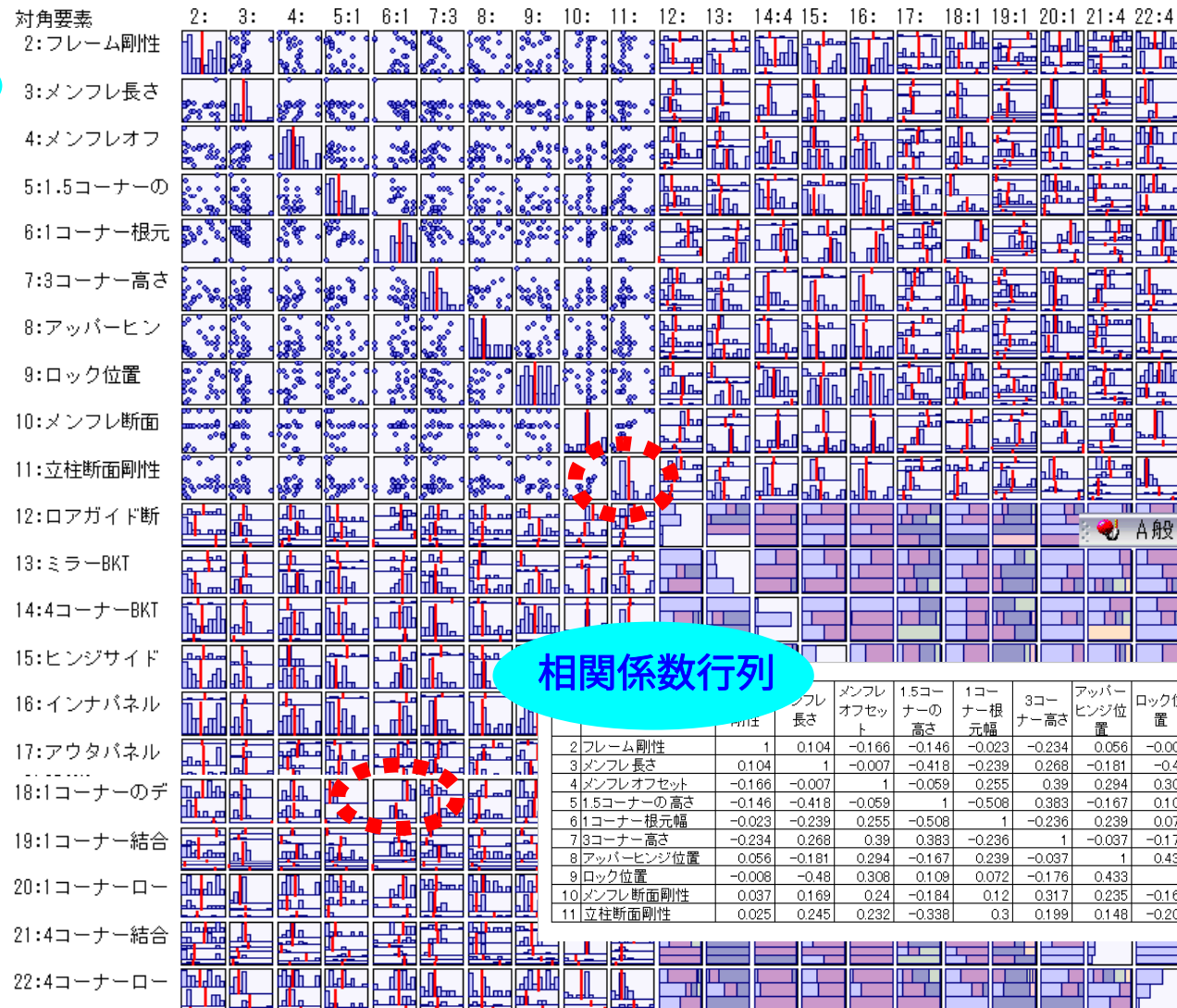
明らかにおかしな係数

設計の勘(肝)どころである構造因子が加味できない

7.1 予測式の確立

(2)重回帰分析トライ／因子・水準のスリム化①

多変量相関図



7.1 予測式の確立 (2)重回帰分析トライ／因子・水準のスリム化②

- 共線性を引き起こす相関の強い因子同士の統合
- 既存の評価結果を再度見直し、寄与度の小さい因子をDrop
- 断面因子の水準が多い
⇒断面水準の増加の要因である、旧車両サンプルをDrop

因子数14 サンプル数18

	フレーム剛性	メンブレ長さ	1.5 コー ナーの 高さ	1コー ナー根 元幅	3コー ナー高 さ	アッ パービ ンジ位 置	ロック 位置	断面剛 性	ミラー BKT	ヒンジサ イドパネ ル	1コー ナー結 合構造	1コー ナー ロー付 け	4コー ナー結 合構造	4コー ナー ロー付 け
740N	58.0	1013	169	162	452	118	224	1	1	2	1	1	1	2
305N	55.5	1030	160	186	441	144	236	2	3	2	2	3	1	2
290N	42.5	1039	176	172	490	111	256	2	3	2	2	2	1	2
970T	47.6	977	171	172	461	160	276	2	3	2	2	3	1	3
870T	39.2	1034	181	168	472	111	256	2	3	2	2	3	1	3
681N	56.0	1203	163	25	483	110	233	5		2	3	2	1	2
500N	41.9	1013	264	108	553	110	211	3	1	1	2	1	1	2
480N	42.0	1034	242	111	486	103	217	3	2	1	2	2	1	2
329N	43.5	960	220	148	436	100	238	4	3	2	1	1	2	1
312N	61.6	1000	211	121	442	100	233	5	2	2	1	2	1	1
300N	52.9	1003	182	199	479	118	225	3	1	1	2	1	1	1
297N	39.1	1020	202	105	451	118	237	4	3	2	2	2	2	1
191N	47.9	936	244	158	508	136	294	3	3	1	2	1	3	1
186N	40.5	1006	223	137	515	146	244	3	3	2	2	1	2	1
140N	45.8	963	217	126	451	102	233	4	3	2	1	2	2	1
013N	51.2	1005	203	113	490	126	297	3	2	1	2	1	1	1
910T	54.7	958	178	173	456	118	260	3	3	2	2	2	1	1
860T	57.7	903	286	25	450	120	278	3		1	3	2	2	1

7.1 予測式の確立

(2)重回帰分析トライ／因子・水準のスリム化③

これでもサンプル数不足⇒ダミーデータ(同データ繰り返し)でトライ

逐次変数選択

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ²
フレーム剛性	0		1	
	R ² *2	残差自由度	残差標準偏差	
	1	16	0	

vNo	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
0	定数項	38.383	38.383	2.32653E+14	247.226
3	メンフレ長さ	100.842	100.842	6.11241E+14	-0.136
4	1.5コーナーの高さ	0	-1.154	-999	共線性有
5	1コーナー根元幅	1.188	1.188	7.20257E+12	-0.05
6	3コーナー高さ	1.702	1.702	1.03157E+13	-0.078
7	アッパーヒンジ位置	0	-0.993	-999	共線性有
8	ロック位置	0	-1.605	-999	共線性有
	メンフレ断面剛性	222.435	222.435	3.37065E+14	
	c1				0
	c2				-1.128
	c3				-10.964
	c4				-19.79
	c5				-7.339
	ミラーBKT	24.176	24.176	7.32687E+13	
	c1				0
	c2				-4.863
	c3				10.168
11	ヒンジサイドパネル	0	-2.41	-999	共線性有
12	1コーナー結合構造	0	-3.228	-999	共線性有
	1コーナーロー付け	13.876	13.876	4.2053E+13	
	c1				0
	c2				2.774
	c3				11.451
	4コーナー結合構造	3.296	3.296	9.9882E+12	
	c1				0
	c2				-2.125
	c3				-3.734
	4コーナーロー付け	153.958	153.958	4.666E+14	
	c1				0
	c2				-8.442
	c3				-22.693

寄与度1？

影響の大きそうな因子が反映できない

設計の勘(肝)どころである構造因子が加味できない

明らかにおかしな係数

7.1 予測式の確立 (3)重回帰分析トライ／サンプルの補強①

既存の解析結果との融合により、サンプル数の補強

因子数14、**サンプル数33**

	フレーム剛性	メンブレ長さ	1.5 コー ナーの 高さ	1コー ナー根 元幅	3コー ナー高 さ	アッ パーヒ ンジ位 置	ロック 位置	断面	ミラー BKT	ヒンジサ イドパネ ル	1コー ナー結 合構造	1コー ナー ロー付 け	4コー ナー結 合構造	4コー ナー ロー付 け
740N	38.0	1013	169	162	452	118	224	1	1	2	1	1	1	1
740N①	54.0	1013	169	162	452	118	224	1	1	2	3	1	1	1
740N②	59.0	1013	169	162	452	118	224	1	1	1	1	1	1	1
305N	55.5	1030	160	166	444	144	236	2	3	2	3	3	1	1
290N	42.6	1039	176	172	490	111	256	2	3	2	3	2	1	1
290N①	43.1	1039	176	172	490	111	256	2	3	2	3	2	1	1
970T	47.6	977	171	172	461	160	276	2	3	2	3	3	1	2
870T	39.2	1034	181	168	472	111	256	2	3	2	3	3	1	2
500N	41.9	1013	264	108	553	110	211	3	1	1	3	1	1	1
480N	42.0	1034	242	111	486	103	217	3	2	2	3	2	1	1
480N①	40.2	1034	242	111	486	103	217	4	2	2	3	2	1	1
480N②	41.4	1034	242	111	486	103	217	3	3	2	3	2	1	1
480N③	46.1	1034	242	111	486	103	217	3	2	1	3	2	1	1
480N④	38.7	1034	242	111	486	103	217	3	2	2	3	2	2	1
329N	43.9	960	220	148	436	100	238	4	3	2	2	1	2	1
312N	61.6	1000	211	121	442	100	233	5	2	2	2	2	1	1
300N	52.9	1003	182	199	479	118	225	3	1	1	3	1	1	1
300N①	51.2	1003	182	199	479	118	225	4	1	1	3	1	1	1
300N②	52.0	1003	182	199	479	118	225	3	2	1	3	1	1	1
300N③	51.5	1003	182	199	479	118	225	3	1	1	3	1	2	1
300N④	54.8	1003	182	199	479	118	225	3	1	1	2	1	1	1
300N⑤	51.2	1003	182	199	479	118	225	3	1	1	3	3	1	1
297N	39.7	1020	202	105	451	118	237	4	3	2	3	2	2	1
297N①	40.3	1020	202	105	451	118	237	4	3	2	3	2	1	1
191N	47.9	936	214	153	603	136	294	3	3	1	3	1	3	1
186N	40.5	1006	223	137	515	146	244	3	3	2	3	1	2	1
140N	46.8	963	217	126	451	102	233	4	3	2	2	2	2	1
140N①	47.3	963	217	126	451	102	233	3	3	2	2	2	2	1
140N②	47.8	963	217	126	451	102	233	4	3	2	2	2	1	1
013N	51.2	1005	203	113	490	126	297	3	2	1	3	1	1	1
013N①	50.2	1005	203	113	490	126	297	3	3	1	3	1	1	1
013N②	48.6	1005	203	113	490	126	297	3	2	1	3	3	1	1
910T	54.7	958	178	173	456	118	260	3	3	2	3	2	1	1

7.1 予測式の確立

(3)重回帰分析トライ／サンプルの補強②

全選択

ダミーサンプル必要なし

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ²
フレーム剛性	52.733	0.979	0.959	
	R ²	残差自由度	残差標準偏差	
	0.828	12	2.096	

寄与度は0.959だが

vNo	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
0	定数項	90.117	37.384	8.507	176.766
3	メンブレ長さ	72.14	19.407	4.4162	-0.08
4	1.5コーナーの高さ	52.754	0.021	0.0047	0.006
5	1コーナー根元幅	53.529	0.796	0.1841	0.024
6	3コーナー高さ	80.568	27.834	6.334	-0.119
7	アッパーヒンジ位置	66.793	14.06	3.1995	0.1
8	ロック位置	52.813	0.08	0.0182	0.007
9	断面	206.058	153.325	8.7227	0
	c1				0.484
	c2				-1.512
	c3				-5.652
	c4				8.847
	c5				
10	ミラーBKT	62.369	9.636	1.0964	0
	c1				-1.347
	c2				-3.361
	c3				
11	ヒンジサイドパネル	65.042	12.309	2.8011	0
	c1				-2.99
	c2				
	c3				
12	1コーナー結合構造	58.582	5.849	0.6655	0
	c1				-2.366
	c2				-3.005
	c3				
13	1コーナーロー付け	54.81	2.077	0.2363	0
	c1				-0.313
	c2				-1.207
	c3				
14	4コーナー結合構造	109.207	56.474	6.4257	0
	c1				-3.908
	c2				-6.406
	c3				
15	4コーナーロー付け	98.869	46.136	10.4987	0
	c1				-7.674
	c2				

明らかにおかしい係数

7.1 予測式の確立

(4)重回帰分析トライ／変数変換①

力学式を参考に変数変換

● フレーム剛性 = δ (変位量) / W 荷重

⇒ 変形変位量 = フレーム剛性 / 荷重 (196N)

● δ (変位量) = $A \times (L \text{ 長さ})^3$

⇒ メンフレ長さ 3

⇒ 1.5 コーナー高さ 3

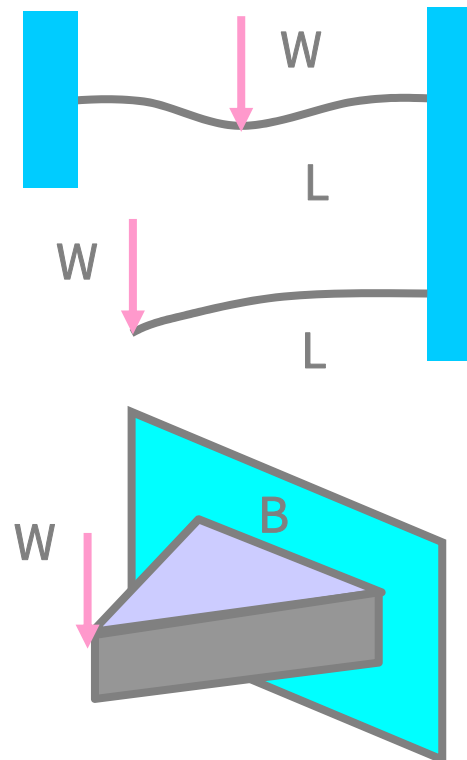
⇒ 3 コーナー高さ 3

⇒ アッパーヒンジ位置 3

⇒ ロック位置 3

● δ (変位量) = $A \times (L \text{ 長さ})^3 / B \text{ 根元幅}$

⇒ 1 / 1.5 コーナー根元長さ



7.1 予測式の確立 (4)重回帰分析トライ／変数変換②

力学式を参考に変数変換

	変形変 位量	メンフ レ長さ	1.5 コー ナーの 高さ	1コー ナー根 元幅	3コー ナー高 さ	アッ パーヒ ンジ位 置	ロック 位置	断面	ミラー BKT	ヒンジサ イドパネ ル	1コー ナー結 合構造	1コー ナー ロー付 け	4コー ナー結 合構造	4コー ナー ロー付 け
740N	3.38	104	048	062	092	016	1.12	1	1	2	1	1	1	1
740N①	3.63	104	048	062	092	016	1.12	1	1	2	3	1	1	1
740N②	3.32	104	048	062	092	016	1.12	1	1	1	1	1	1	1
305N	3.53	109	041	054	086	03	1.31	2	3	2	3	3	1	1
290N	4.61	11.2	055	058	1.18	0.14	1.68	2	3	2	3	2	1	1
290N①	4.55	11.2	055	058	1.18	0.14	1.68	2	3	2	3	2	1	1
970T	4.12	9.33	05	058	0.98	0.41	2.1	2	3	2	3	3	1	2
870T	5.00	11.1	059	06	1.05	0.14	1.68	2	3	2	3	3	1	2
500N	4.68	104	184	093	1.69	0.13	0.94	3	1	1	3	1	1	1
480N	4.67	11.1	142	09	1.15	0.11	1.02	3	2	2	3	2	1	1
480N①	4.88	11.1	142	09	1.15	0.11	1.02	4	2	2	3	2	1	1
480N②	4.73	11.1	142	09	1.15	0.11	1.02	3	3	2	3	2	1	1
480N③	4.25	11.1	142	09	1.15	0.11	1.02	3	2	1	3	2	1	1
480N④	5.06	11.1	142	09	1.15	0.11	1.02	3	2	2	3	2	2	1
329N	4.51	8.85	106	068	0.83	0.1	1.35	4	3	2	2	1	2	1
312N	3.18	10	0.94	0.83	0.86	0.1	1.26	5	2	2	2	2	1	1
300N	3.71	10.1	06	05	1.1	0.16	1.14	3	1	1	3	1	1	1
300N①	3.83	10.1	06	05	1.1	0.16	1.14	4	1	1	3	1	1	1
300N②	3.77	10.1	06	05	1.1	0.16	1.14	3	2	1	3	1	1	1
300N③	3.81	10.1	06	05	1.1	0.16	1.14	3	1	1	3	1	2	1
300N④	3.58	10.1	06	05	1.1	0.16	1.14	3	1	1	2	1	1	1
300N⑤	3.83	10.1	06	05	1.1	0.16	1.14	3	1	1	3	3	1	1
297N	5.01	10.6	0.82	0.95	0.92	0.16	1.33	4	3	2	3	2	2	1
297N①	4.86	10.6	0.82	0.95	0.92	0.16	1.33	4	3	2	3	2	1	1
191N	4.10	8.2	1.45	0.63	1.31	0.25	2.54	3	3	1	3	1	3	1
186N	4.84	10.2	1.11	0.73	1.37	0.31	1.45	3	3	2	3	1	2	1
140N	4.28	8.93	1.02	0.79	0.92	0.11	1.26	4	3	2	2	2	2	1
140N①	4.14	8.93	1.02	0.79	0.92	0.11	1.26	3	3	2	2	2	2	1
140N②	4.10	8.93	1.02	0.79	0.92	0.11	1.26	4	3	2	2	2	1	1
013N	3.83	10.2	0.84	0.88	1.18	0.2	2.62	3	2	1	3	1	1	1
013N①	3.90	10.2	0.84	0.88	1.18	0.2	2.62	3	3	1	3	1	1	1
013N②	4.03	10.2	0.84	0.88	1.18	0.2	2.62	3	2	1	3	3	1	1
910T	3.58	8.79	0.56	0.58	0.95	0.16	1.76	3	3	2	3	2	1	1

7.1 予測式の確立

(4)重回帰分析トライ／変数変換③

全選択

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ² adj
変形変置量	0.396	0.978	0.959	0.959
	R ² adj	残差自由度	残差標準偏差	
	0.825	12	0.182	

vNo	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
0	定数項	0.424	0.028	0.8534	-1.057
3	メンフレ長さ	0.582	0.186	5.6371	0.279
4	1.5コーナーの高さ	0.403	0.007	0.1992	-0.185
5	1コーナー根元幅	0.409	0.013	0.3911	0.535
6	3コーナー高さ	0.697	0.301	9.1234	1.591
7	アッパーヒンジ位置	0.516	0.12	3.6505	-1.687
8	ロック位置	0.402	0.006	0.1791	-0.087
9	断面	1.327	0.931	7.0565	0
	c1				-0.081
	c2				0.19
	c3				0.54
	c4				-0.531
	c5				
10	ミラーBKT	0.474	0.078	1.179	
	c1				0
	c2				0.168
	c3				0.314
11	ヒンジサイドパネル	0.549	0.153	4.6442	
	c1				0
	c2				0.336
12	1コーナー結合構造	0.404	0.008	0.1229	
	c1				0
	c2				0.09
	c3				0.112
13	1コーナーロー付け	0.41	0.014	0.2102	
	c1				0
	c2				0.018
	c3				0.096
14	4コーナー結合構造	0.949	0.553	8.3854	
	c1				0
	c2				0.358
	c3				0.739
15	4コーナーロー付け	0.886	0.49	14.8577	
	c1				0
	c2				0.79

寄与度は0.959

明らかにおかしい係数
(改善されない!!)

今回はDrop

7.1 予測式の確立

(5)重回帰分析トライ／予測式の確立①

全選択

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	偏回帰係数
変形変位量	0.518	0.973	0.946	0.001
	R ² *2	残差自由度	残差標準偏差	
	0.811	14	0.192	

寄与度は0.959

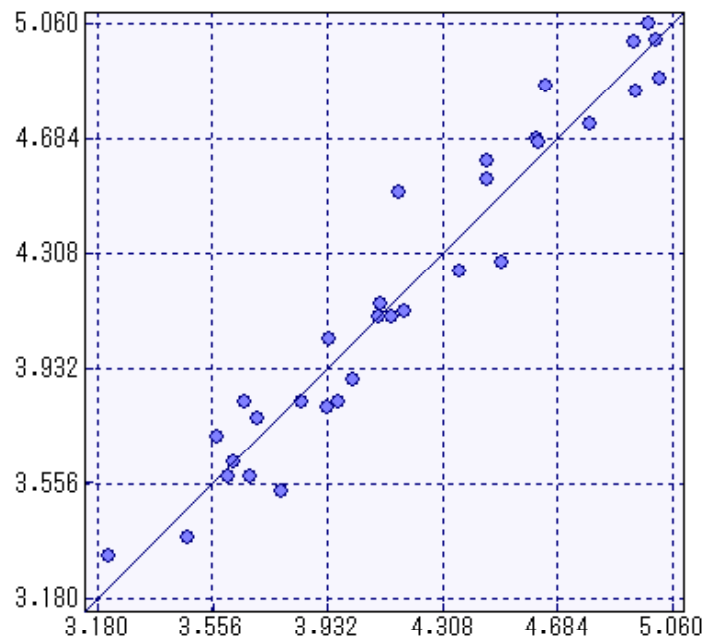
vNo	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
0	定数項	0.677	0.159	4.2935	-2.016
3	メンフレ長さ	1.168	0.65	17.5764	0.373
4	1.5コーナーの高さ	0.52	0.002	0.0653	0.065
5	1コーナー根元幅	0.518	0	0.0007	-0.014
6	3コーナー高さ	0.845	0.327	8.8448	1.445
9	断面	1.651	1.133	7.6577	
	c1				0
	c2				-0.335
	c3				0.054
	c4				0.45
10	ミラーBKT	0.597	0.079	1.0726	
	c1				0
	c2				0.132
	c3				0.3
11	ヒンジサイドパネル	0.616	0.098	2.649	
	c1				0
	c2				0.26
12	1コーナー結合構造	0.549	0.031	0.4231	
	c1				0
	c2				0.258
	c3				0.15
13	1コーナーロー付け	0.583	0.065	0.8814	
	c1				0
	c2				0.181
	c3				0.09
14	4コーナー結合構造	1.031	0.513	6.94	
	c1				0
	c2				0.359
	c3				0.572
15	4コーナーロー付け	1.041	0.523	14.1496	
	c1				0
	c2				0.814

それなりの係数に

7.1 予測式の確立

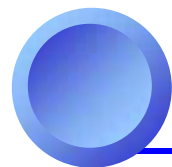
(5)重回帰分析トライ／予測式の確立②

予測判定グラフ



目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率R ²	R ²
変形変位量	0.518	0.973	0.946	0.877
	R ²	残差自由度	残差標準偏差	
	0.811	14	0.192	

vNo	説明変数名	残差平方和	変化量	分散比	偏回帰係数
0	定数項	0.677	0.159	4.2935	-2.016
3	メンフレ長さ	1.168	0.65	17.5764	0.373
4	1.5コーナーの高さ	0.52	0.002	0.0653	0.065
5	1コーナー根元幅	0.518	0	0.0007	-0.014
6	3コーナー高さ	0.845	0.327	8.8448	1.445
	断面	1.651	1.133	7.6577	
	c1				0
	c2				-0.335
	c3				0.054
	c4				0.45
	c5				-0.663
	ミラーBKT	0.597	0.079	1.0726	
	c1				0
	c2				0.132
	c3				0.3
	ヒンジサイドパネル	0.616	0.098	2.649	
	c1				0
	c2				0.26
	1コーナー結合構造	0.549	0.031	0.4231	
	c1				0
	c2				0.258
	c3				0.15
	1コーナーロー付け	0.583	0.065	0.8814	
	c1				0
	c2				0.181
	c3				0.09
	4コーナー結合構造	1.031	0.513	6.94	
	c1				0
	c2				0.359
	c3				0.572
	4コーナーロー付け	1.041	0.523	14.1496	
	c1				0
	c2				0.814



7. 簡易予測ツールの開発

7.2 予測式の確認

変形変位量	メンフレ長さ	1.5コーナーの高さ	1コーナー根元幅	3コーナー高さ	断面	ミラーBKT	ヒンジサイドパネル	1コーナー結合構造	1コーナーロー付け	4コーナー結合構造	4コーナーロー付け
45.0	997	182	171	440	1	3	2	3	1	1	1



	436	991	06	058	085	1	3	2	3	1	1	1
--	-----	-----	----	-----	-----	---	---	---	---	---	---	---



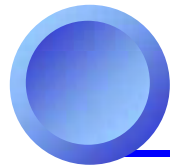
vNo		
	データの95%信頼区間 上限	4.465
	予測値	3.702
	データの95%信頼区間 下限	2.938
3	メンフレ長さ	9.91
4	1.5コーナーの高さ	0.693
5	1コーナー根元幅	0.585
6	3コーナー高さ	0.881
9	断面	c1
10	ミラーBKT	c3
11	ヒンジサイドパネル	c2
12	1コーナー結合構造	c3
13	1コーナーロー付け	c1
14	4コーナー結合構造	c1
15	4コーナーロー付け	c1

剛性予測値：52.9 N/mm

{ 上限：43.9 N/mm
 下限：66.7 N/mm

信頼区間に合致している

解析による実測予測：45 N/mm



8. まとめ

- (1) 主要要因を抽出する方法として、既存の設計に活用し、その際 FMM に関する研究成果を反映した結果、故障モードに対して結果系と原因系を連鎖するマトリックス図によるきめ細かい設計要素展開の方法を見出せた。
- (2) 既存のデータおよび重回帰分析のやり方を駆使し、初期設計段階における構造選定水準を入力項目としたフレーム剛性簡易予測ツールを確立できた。
- (3) 今後は、随時開発車両データの吸い上げ、データベースの充実による予測式精度向上（信頼区間の幅を縮小化）をはかる。

ご清聴ありがとうございました

7.1 予測式の確立

(5)重回帰分析トライ／予測式の確立③

基本統計量

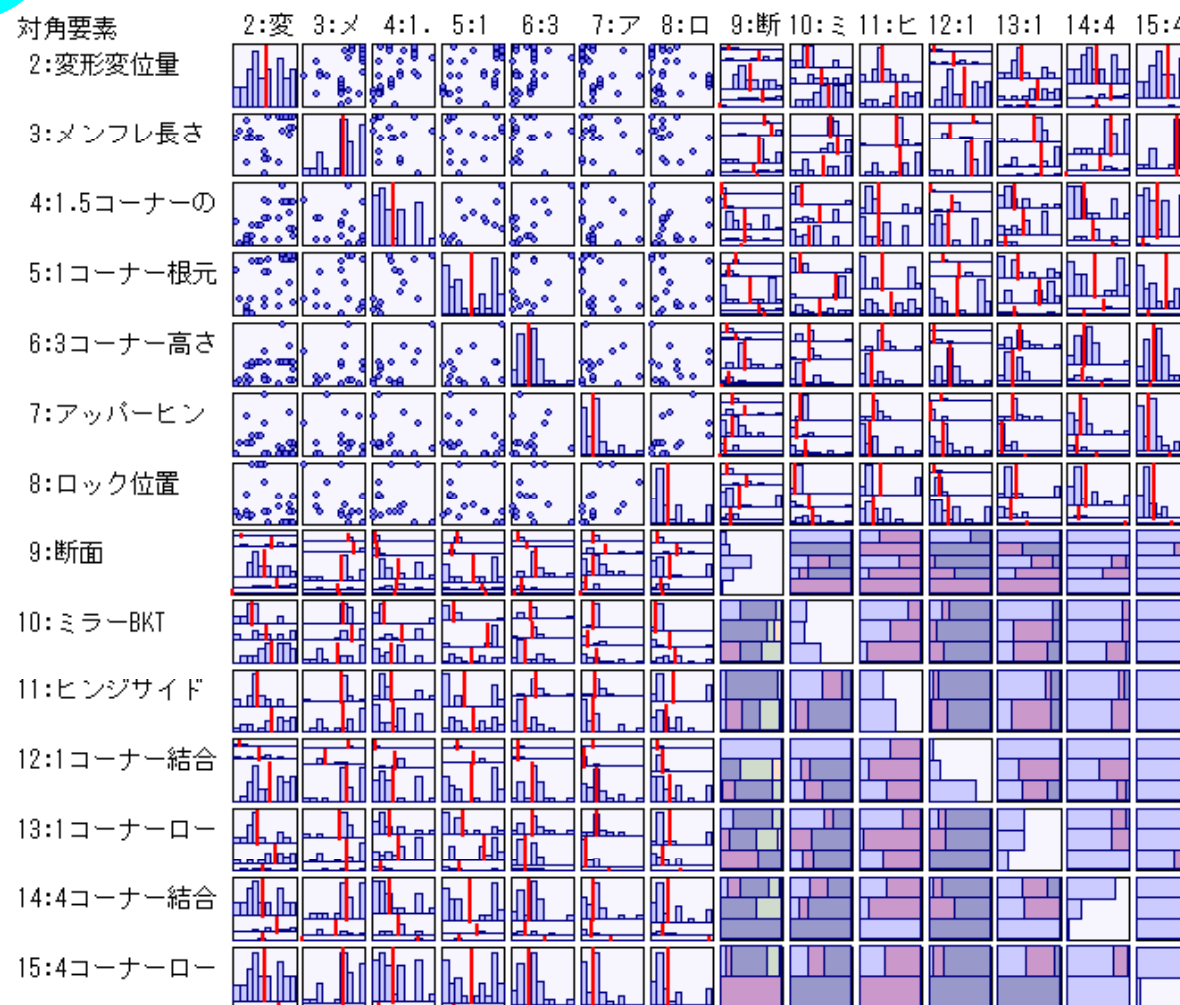
No	変数名	データ数	合計	最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とがり
2	フレーム剛性	33	1581.3	38.7	61.6	47.9182	6.36703	0.1329	0.269	-0.87
3	メンフレ長さ	33	33163	936	1039	1004.939	27.27744	0.0271	-0.848	0.027
4	1.5コーナーの高さ	33	6677	160	264	202.3333	28.44366	0.1406	0.455	-0.959
5	1コーナー根元幅	33	4877	105	199	147.7879	34.73539	0.235	0.232	1.514
6	3コーナー高さ	33	15649	436	553	474.2121	24.60787	0.0519	0.88	1.813
7	アッパーヒンジ位置	33	3844	100	160	116.4848	14.16007	0.1216	1.264	1.889
8	ロック位置	33	7931	211	297	240.3333	25.60355	0.1065	1.268	0.553



No	変数名	データ数	合計	最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とがり
2	変形変位量	33	137.3	3.18	5.06	4.1606	0.54733	0.1316	0.098	-1.162
3	メンフレ長さ	33	335.627	8.2	11.216	10.1705	0.80958	0.0796	-0.741	-0.159
4	1.5コーナーの高さ	33	28.938	0.41	1.84	0.8769	0.37754	0.4305	0.811	-0.304
5	1コーナー根元幅	33	23.558	0.503	0.952	0.7139	0.16524	0.2315	0.079	-1.676
6	3コーナー高さ	33	35.471	0.829	1.691	1.0749	0.17437	0.1622	1.328	3.551
7	アッパーヒンジ位置	33	5.451	0.1	0.41	0.1652	0.06801	0.4118	1.979	4.671
8	ロック位置	33	47.386	0.939	2.62	1.4359	0.50732	0.3533	1.516	1.188

7.1 予測式の確立 (5)重回帰分析トライ／予測式の確立④

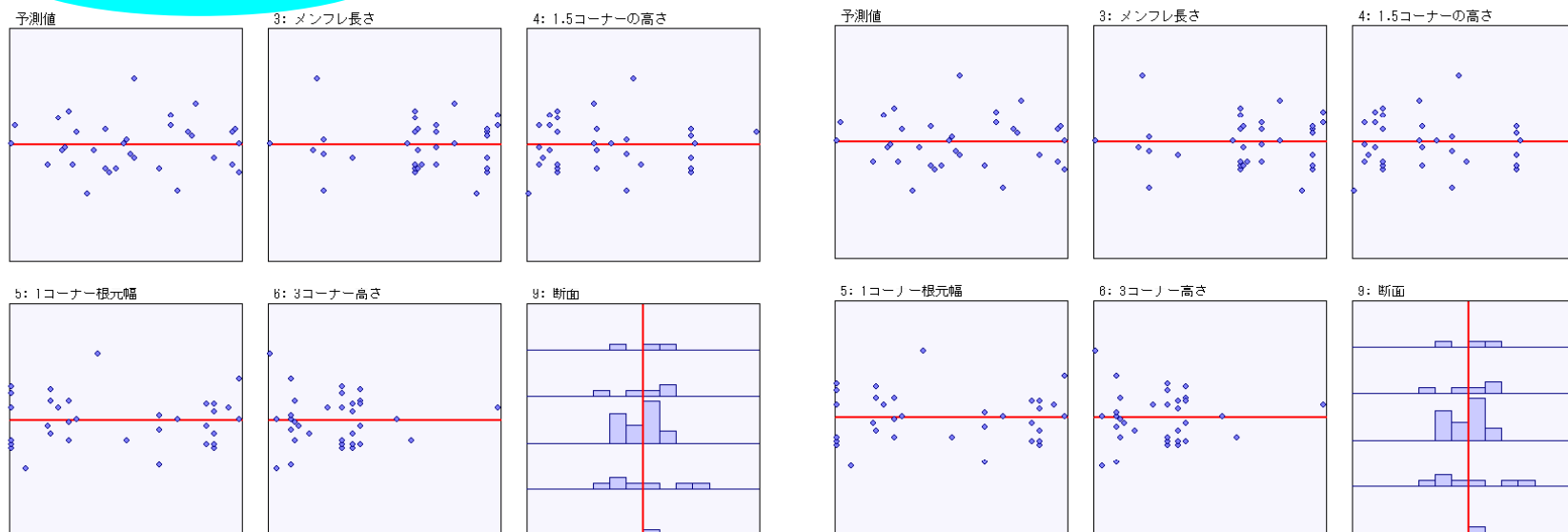
多変量相関図



7.1 予測式の確立

(5)重回帰分析トライ／予測式の確立⑤

残差の検証



7.1 予測式の確立

(5)重回帰分析トライ／予測式の確立⑥

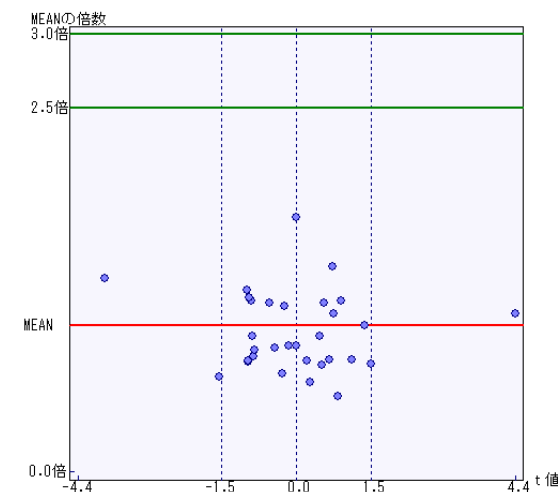
標準偏回帰係数

目的変数名	残差平方和	重相関係数	寄与率 R^2	R^{*2}	R^{**2}	残差自由度	残差標準偏差
変形変位量	0.518	0.973	0.946	0.877	0.811	14	0.192

変数名	偏回帰係数	標準誤差	t値	P値(両側)	標準偏回帰	トレランス	
定数項	-2.016	0.973	-2.072	0.057			
メンフレ長さ	0.373	0.089	4.192	0.001	0.552	0.223	
1.5コーナーの高さ	0.065	0.253	0.255	0.802	0.045	0.126	
1コーナー根元幅	-0.014	0.531	-0.026	0.98	-0.004	0.15	
3コーナー高さ	1.445	0.486	2.974	0.01	0.46	0.161	

残差

サンプル名	実測値	予測値	残差	t値	テコ比	予測残差
305N	3.53	3.785	-0.255	-3.83	0.763	-1.077
329N	4.51	4.169	0.341	4.365	0.622	0.902
140N	4.28	4.505	-0.225	-1.547	0.373	-0.358



掲載されている著作物の著作権については、制作した当事者に帰属します。

著作者の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>