

CAE技術におけるサスペンション設計への新しい試み

– CAP (Computer Aided Principle) による設計コンセプトの検討 –

横浜国立大学大学院工学研究院

于 強

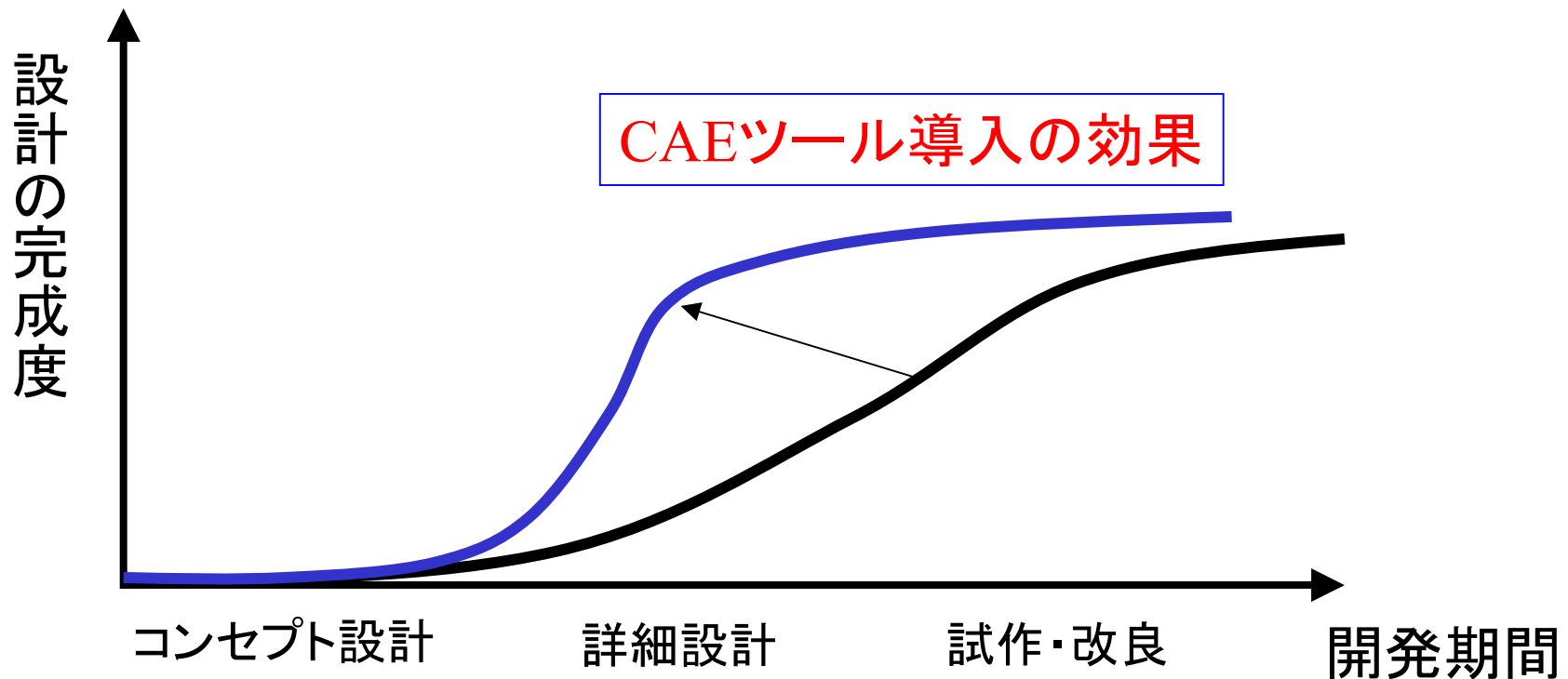
MDJ

本山 恵一

背景(CAE技術の効果)

その1

CAEの技術の発展によって自動車のような大規模構造物の設計効率が向上され、設計期間の短縮が実現された。そして、製品の詳細設計プロセスにおいてCAE技術は既に汎用的な設計ツールとして使用されている。

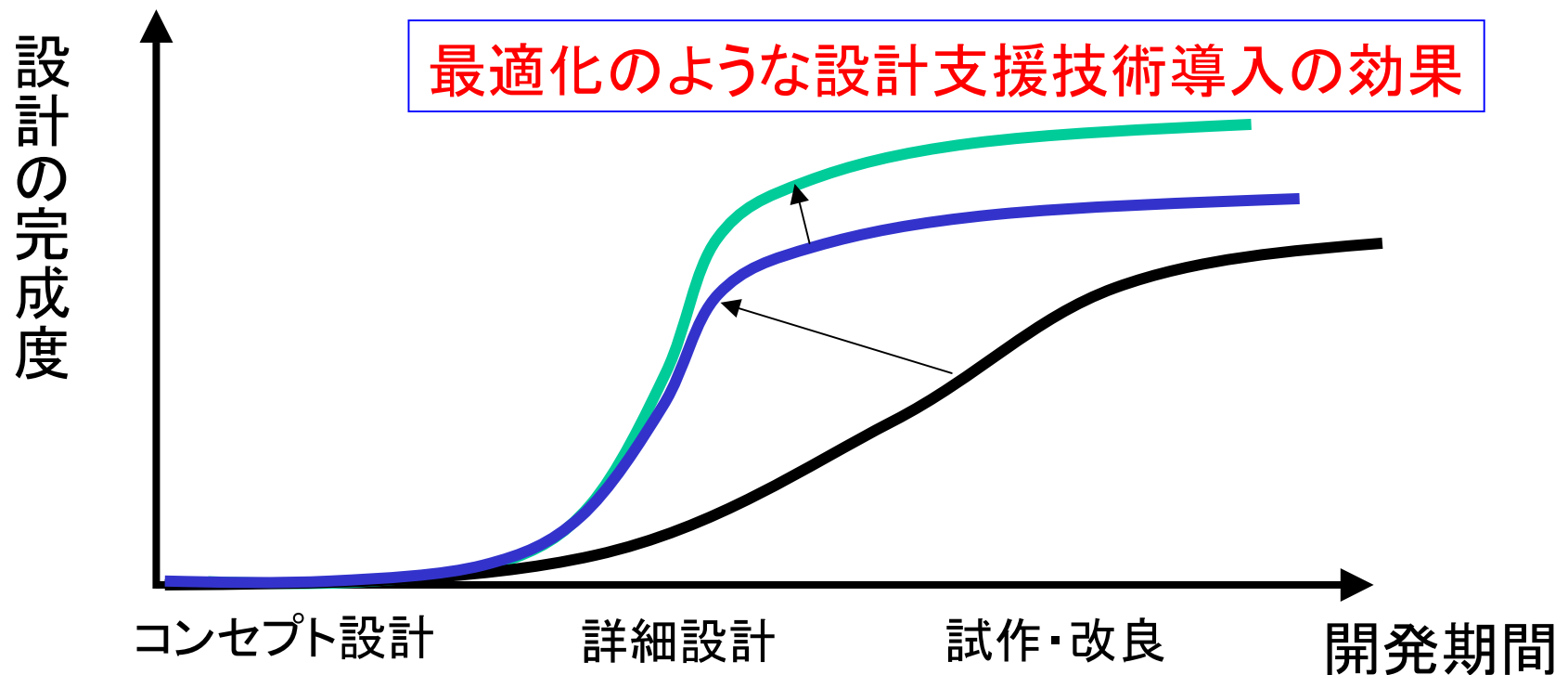


背景 (最適設計技術の効果)

その2

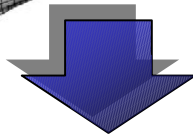
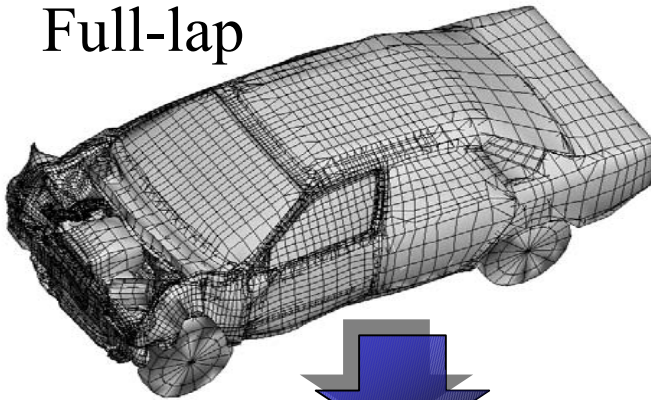
さらなる設計期間の短縮および性能向上を実現するために最適化技術に代表される設計支援技術が導入された。

I-SIGHT, SDSS

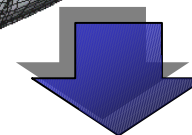
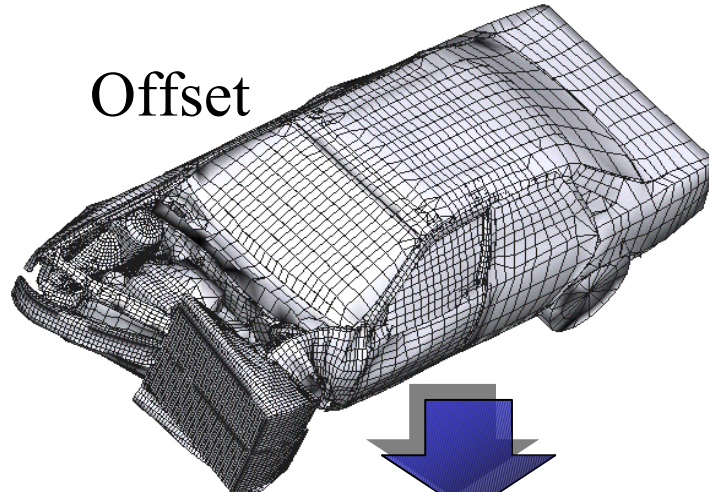


Multi-Objective Optimization

Full-lap



Offset

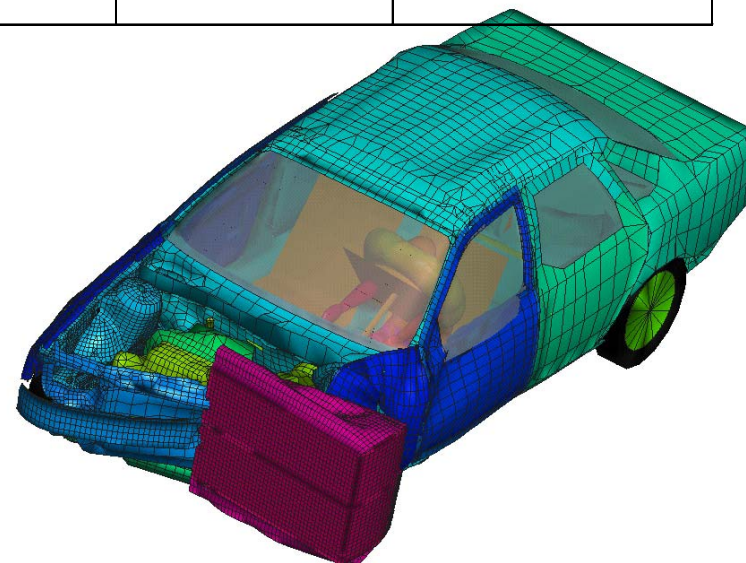
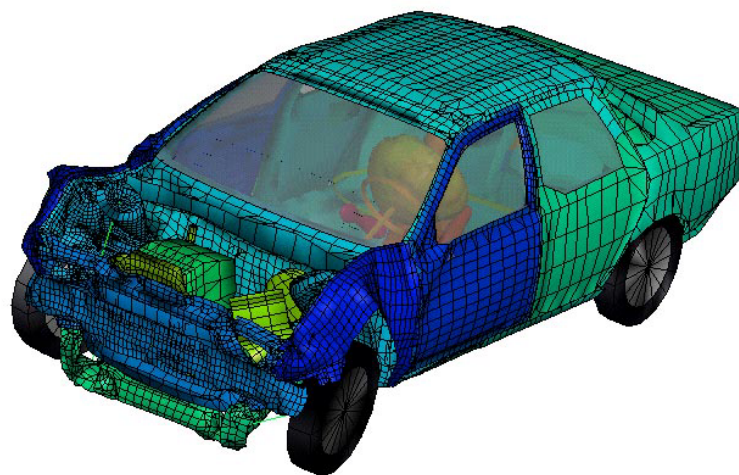


•Acceleration

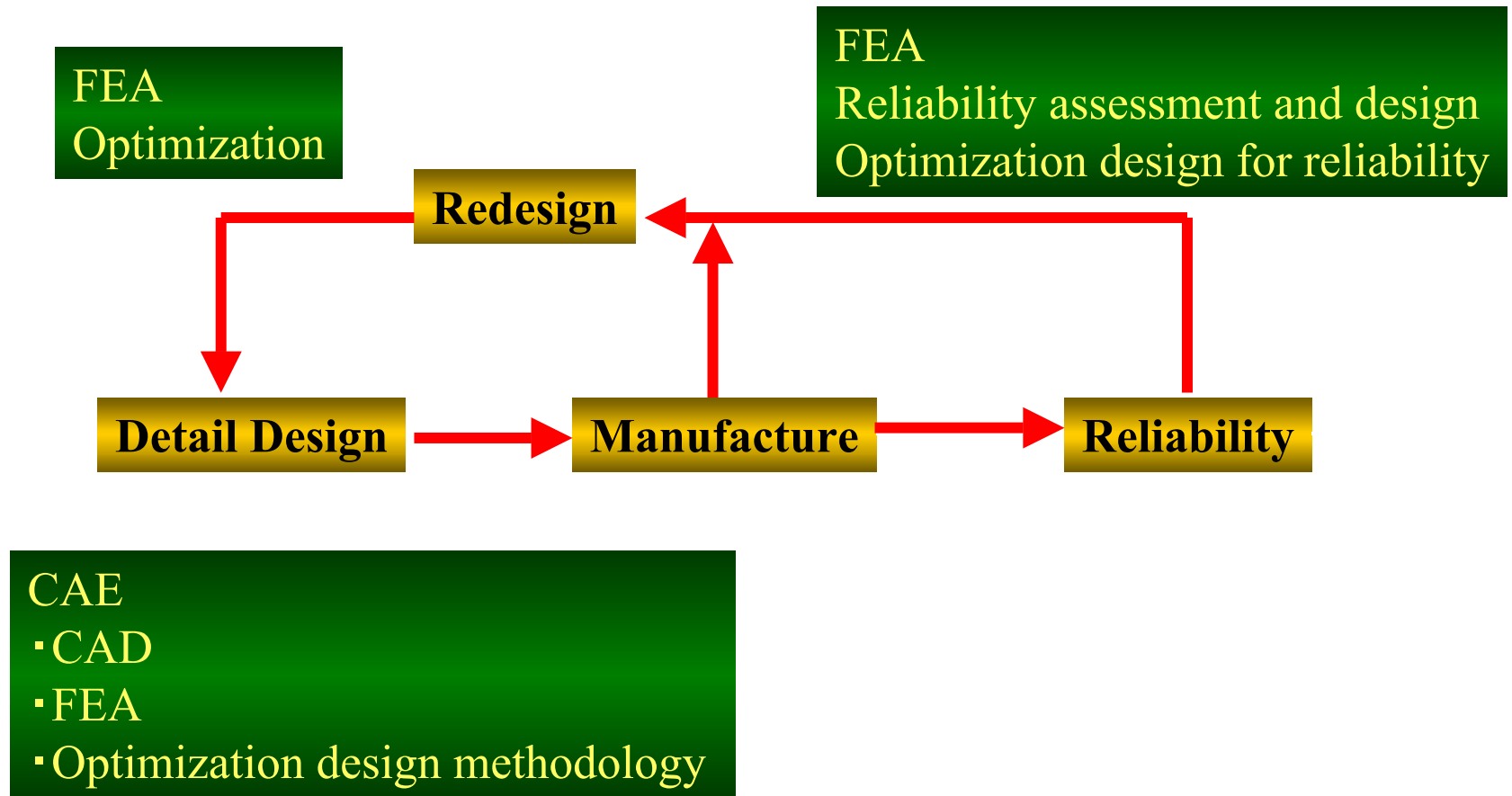
- Weight
- A-C pillar Deformation
- Toe-Board Intrusion

SDSSによる最適設計の結果

	Weight	A-C pillar	Toe-Board	Acceleration
Initial	46.0kg	0.0226m	0.0720m	13.9
車体構造	30.60kg	0.0330m	0.0870m	14.86
車体構造+ 減速特性	30.89kg	0.0341m	0.0978m	11.87

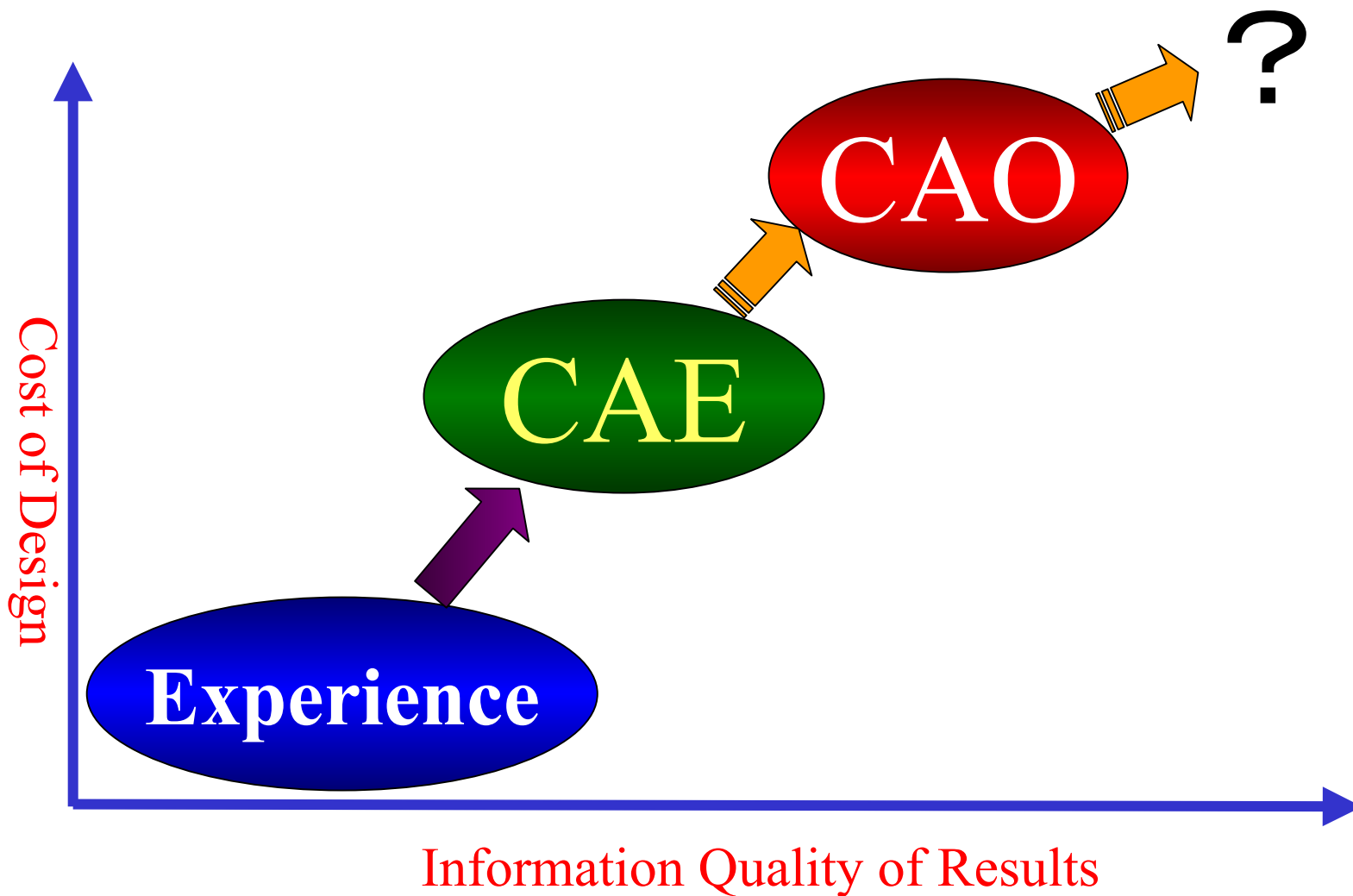


Detail Designにおける技術の進歩



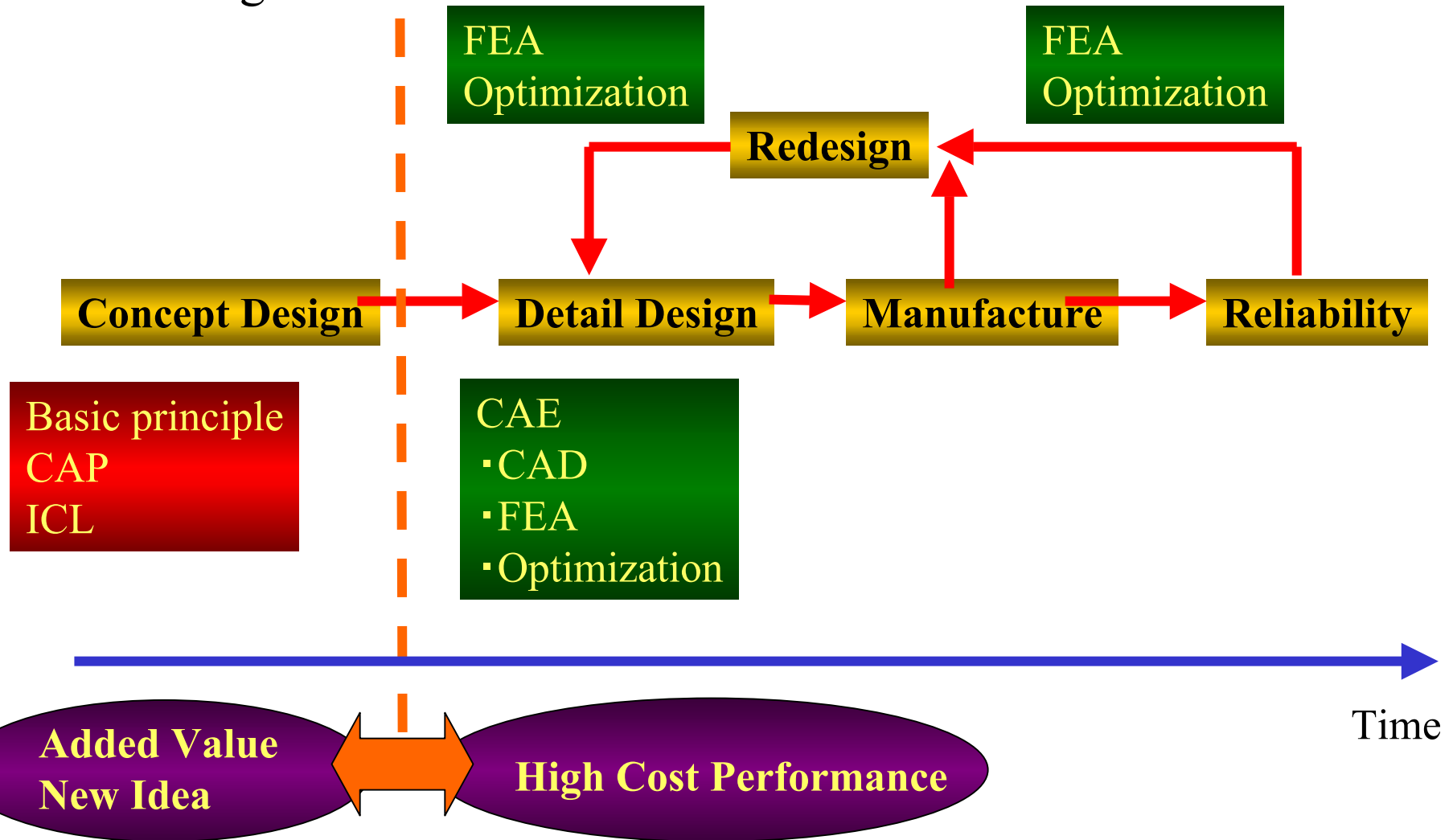
背景 (次の技術は?)

その4



New CAE Technology for Concept Design

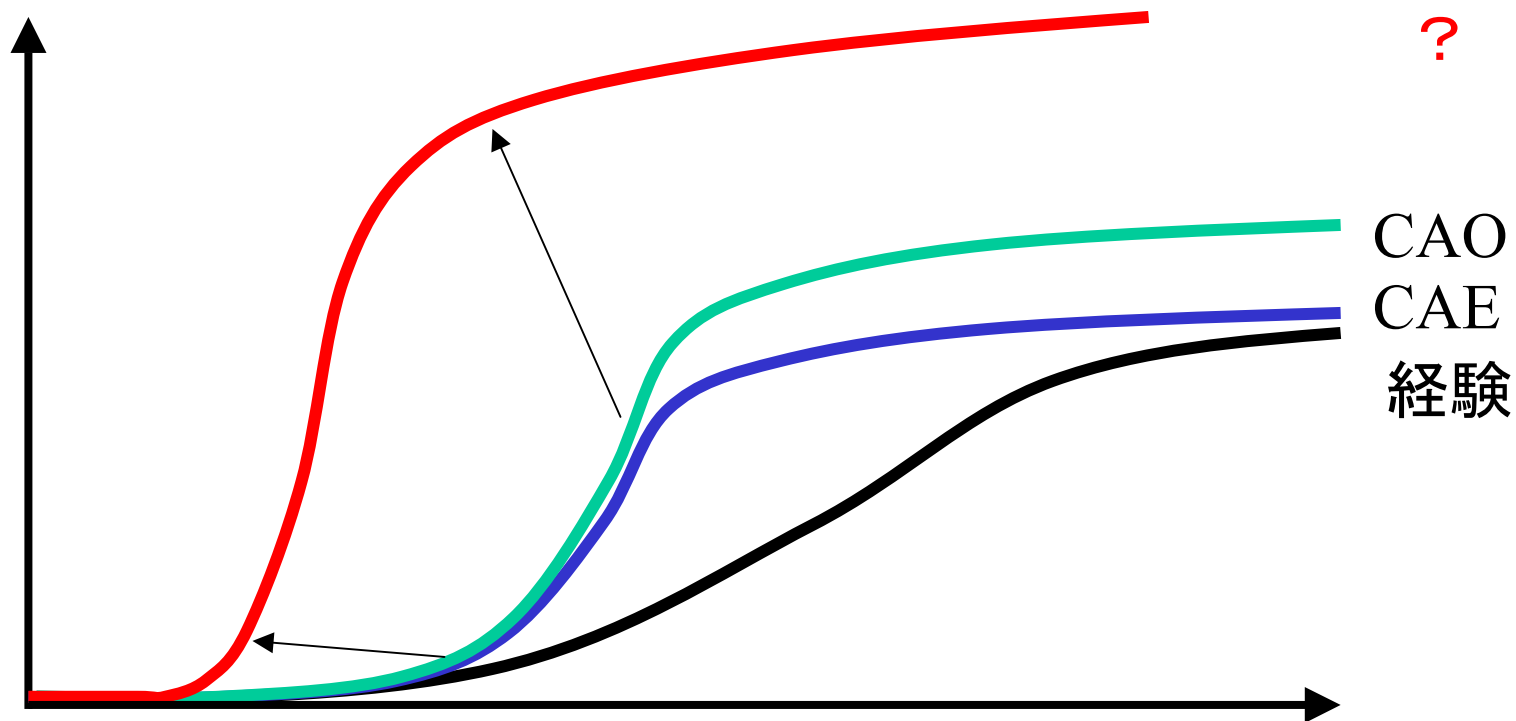
Design Process



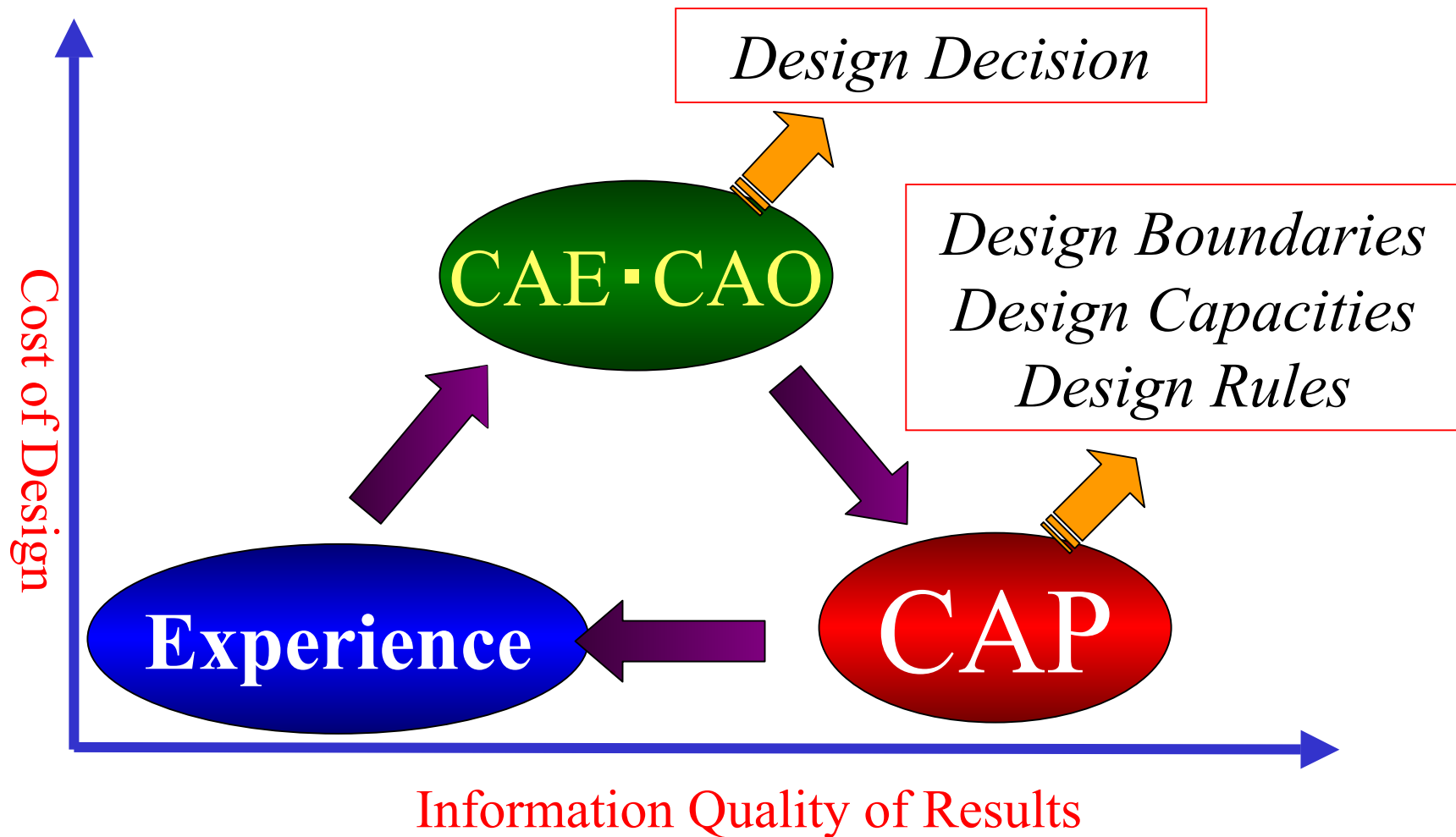
背景(BACKGROUND) (次の技術のニーズ)

その5

詳細設計におけるCAE技術の完成に伴って, 次の技術として設計の上流側, すなわちコンセプト設計期間の効率化を図ることである. また, コンセプトの高度化技術が求められている.

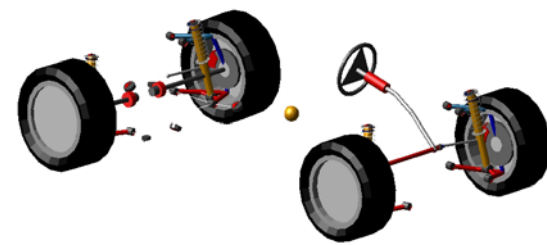
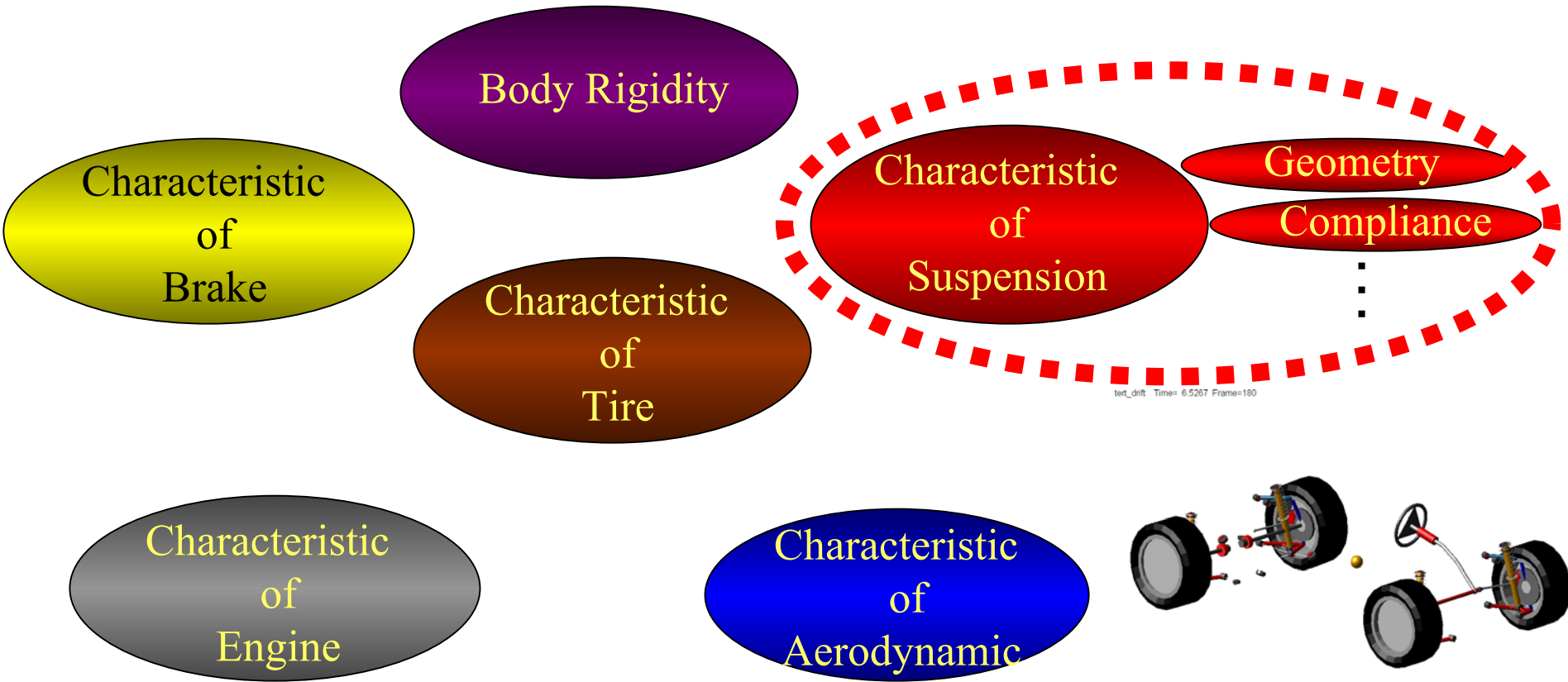


目的: CAP (Computer Aided Principle) Technology



事例:CAPによるサスペンションの設計コンセプトの検討

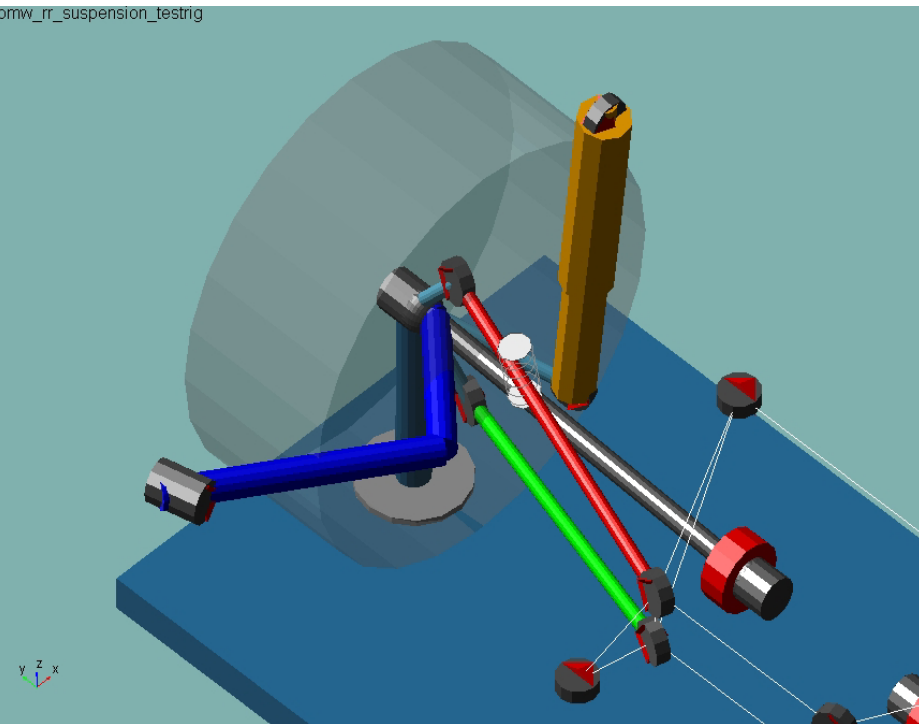
Stability Study of Vehicle Driving



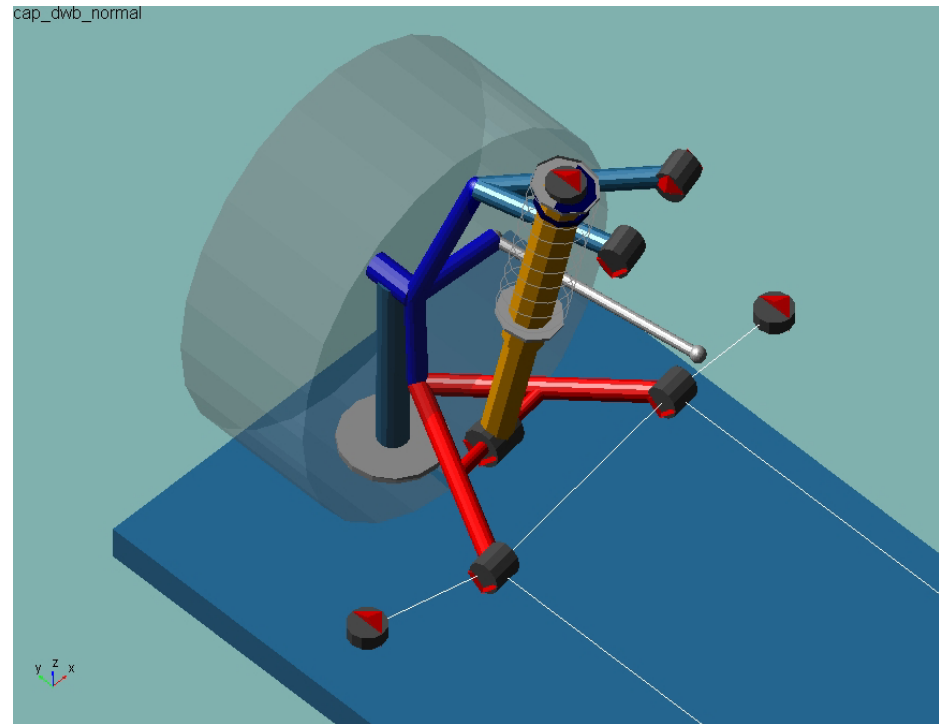
使用した評価モデル:

目的はシステムの良し悪しのみではなく
WHY good に関する知見を導くことである

ML(Multi-Link)



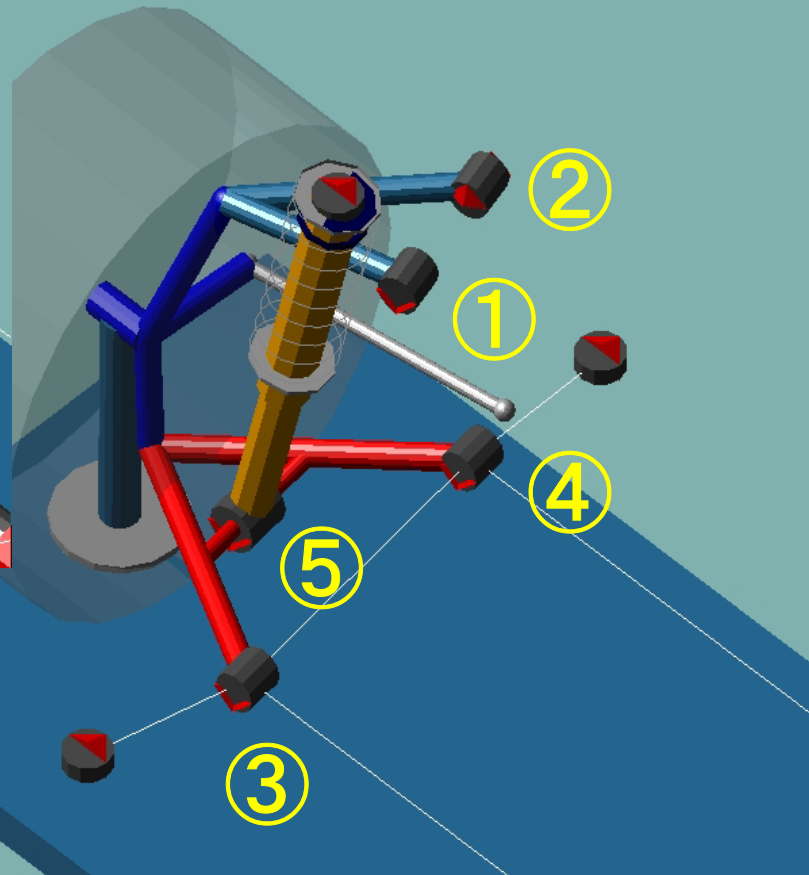
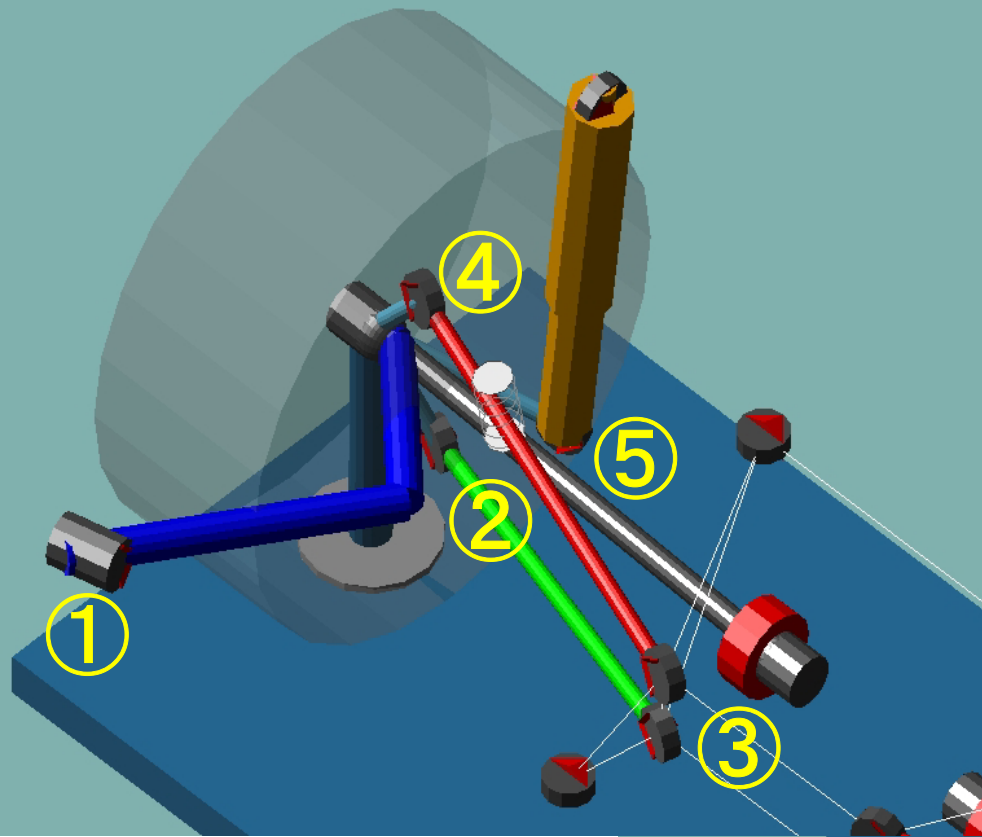
DWB(Double Wishbone)



評価要因:それぞれ5つのJointの座標

bmw_rr_suspension_testrig

X: Original $\pm 50\text{mm}$
Y: Original $\pm 50\text{mm}$
Z: Original $\pm 50\text{mm}$



解析条件と評価項目:

Suspension (静特性) 解析

Parallel Travel

<解析条件>

要因: 15

水準数: 4水準

直交表: $L_{64}(4^{21})$

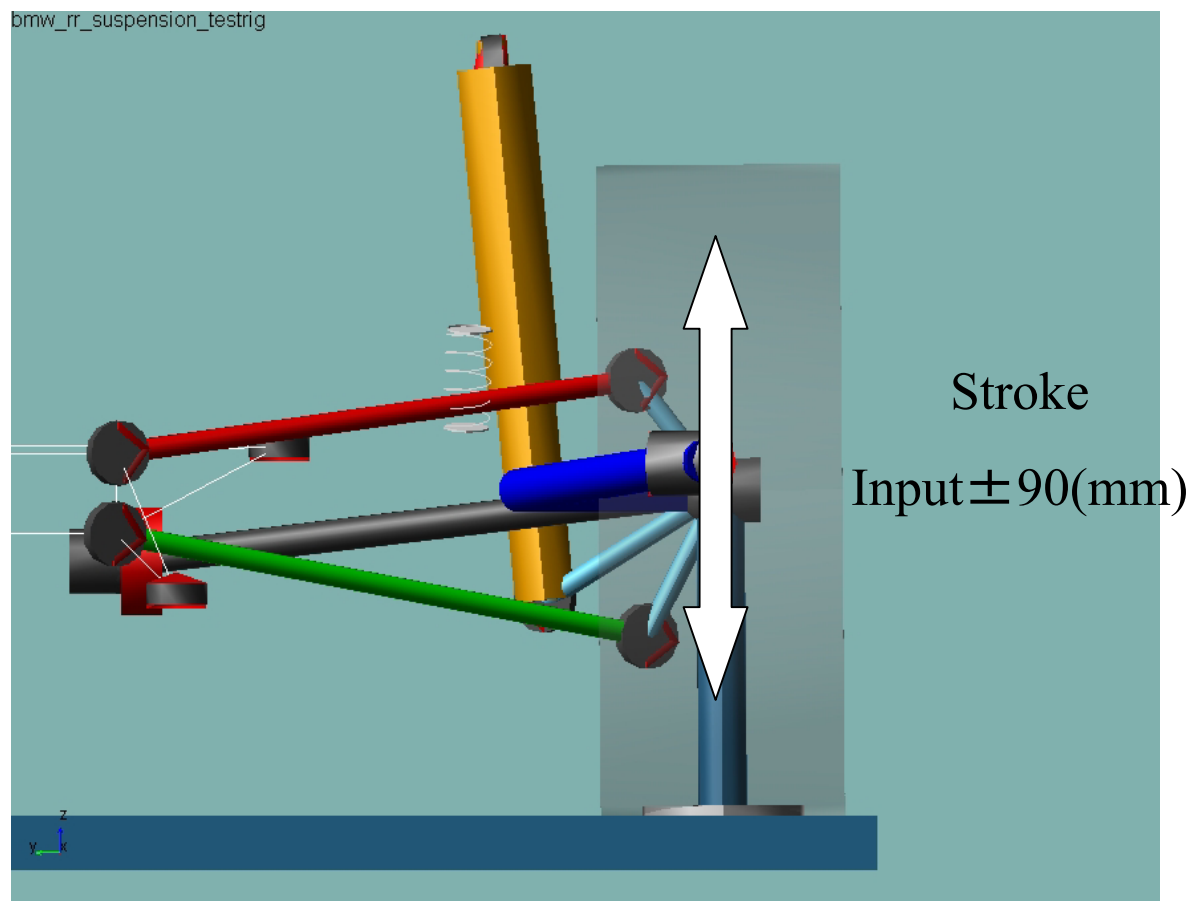
解析数: 64

<評価項目>

Toe Angle

Camber Angle

Wheel Center Base



評価項目：

Full Vehicle (動特性) 解析

<Model>

Suspension解析で用いた
モデルを組み合わせた

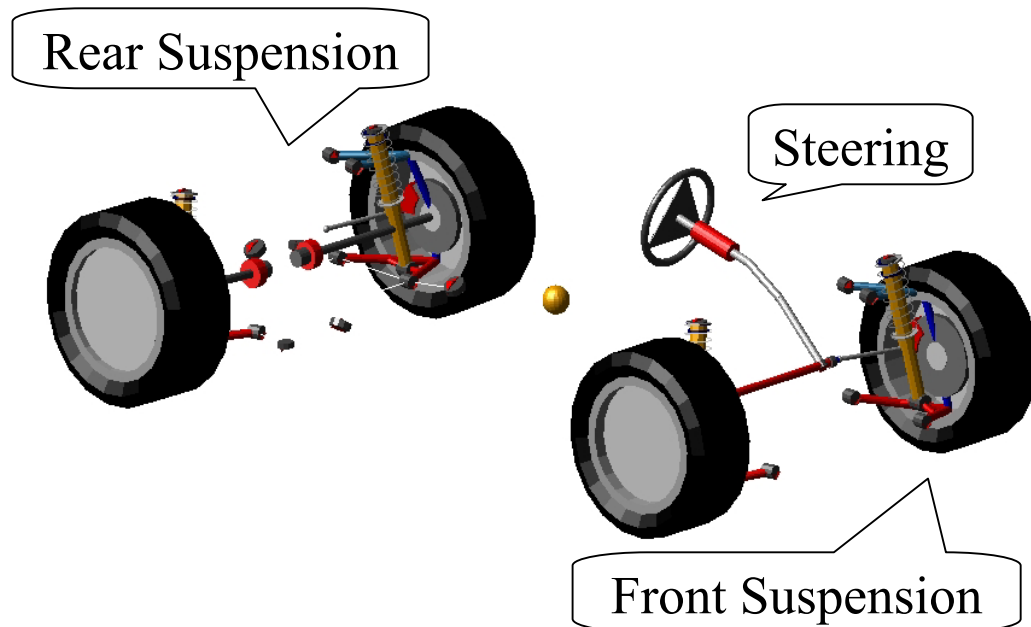
Acceleration解析

Initial Velocity: 60 (km/hr)
3秒後→Full Throttle

Braking解析

Initial Velocity: 100 (km/hr)
3秒後→Full Throttle

解析数: 各64



<評価項目>

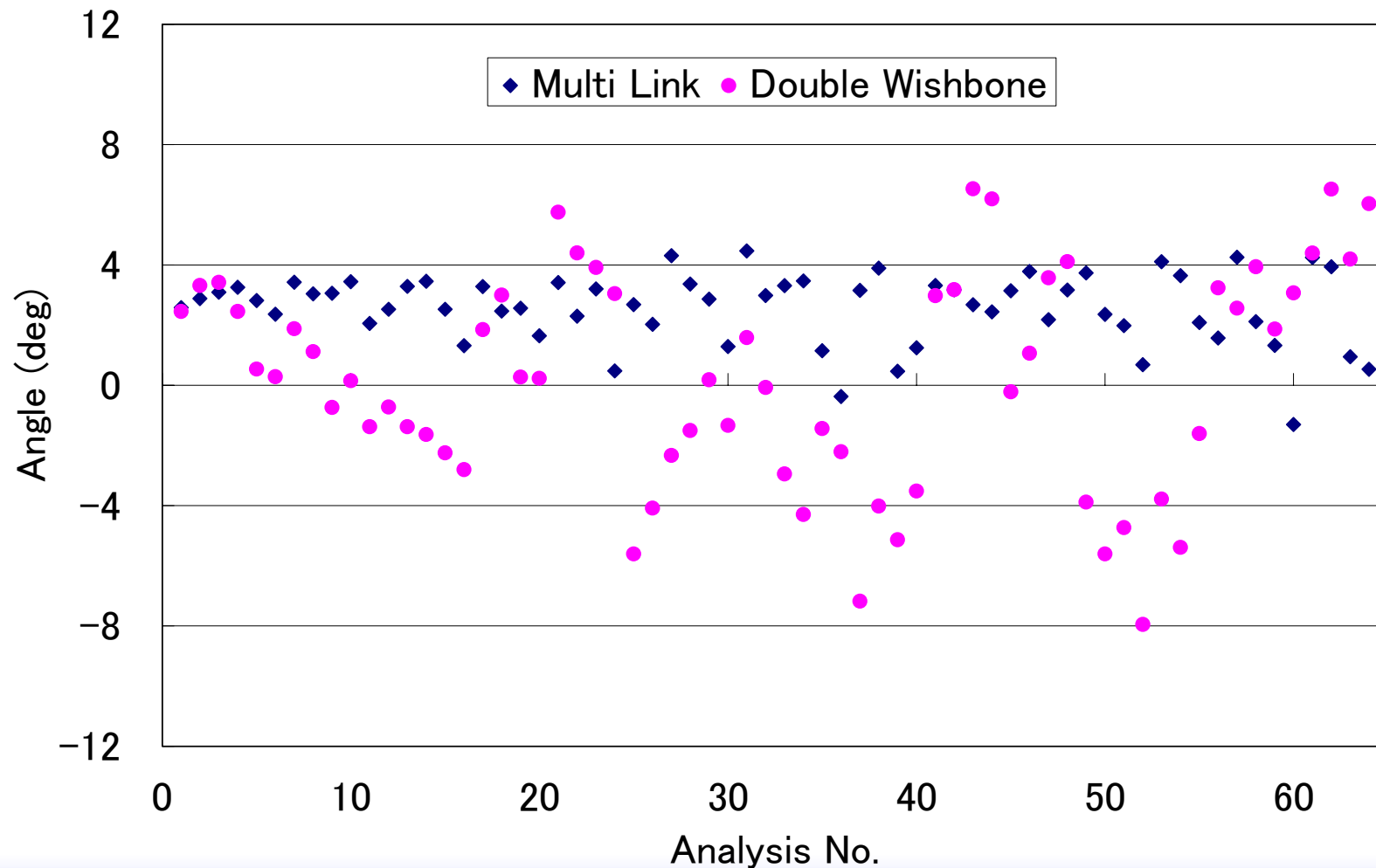
Pitch Angle , Tire Force , Tire Slip Angle ,
Trailing Body Bush Force

解析結果：静特性

その1

Stroke=90mmでのCamber角

Camber Angle (stroke 90mm)

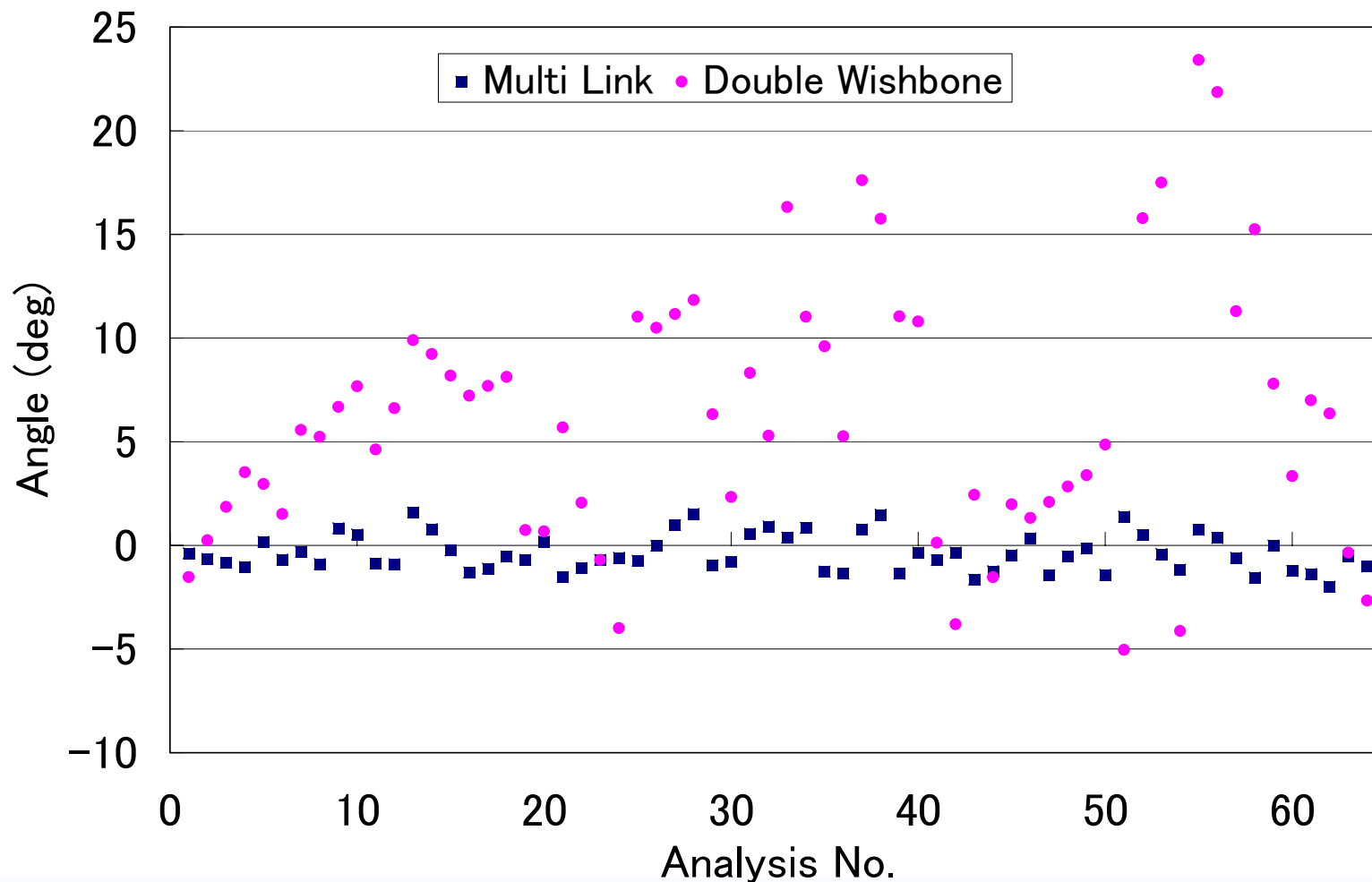


解析結果：静特性

その2

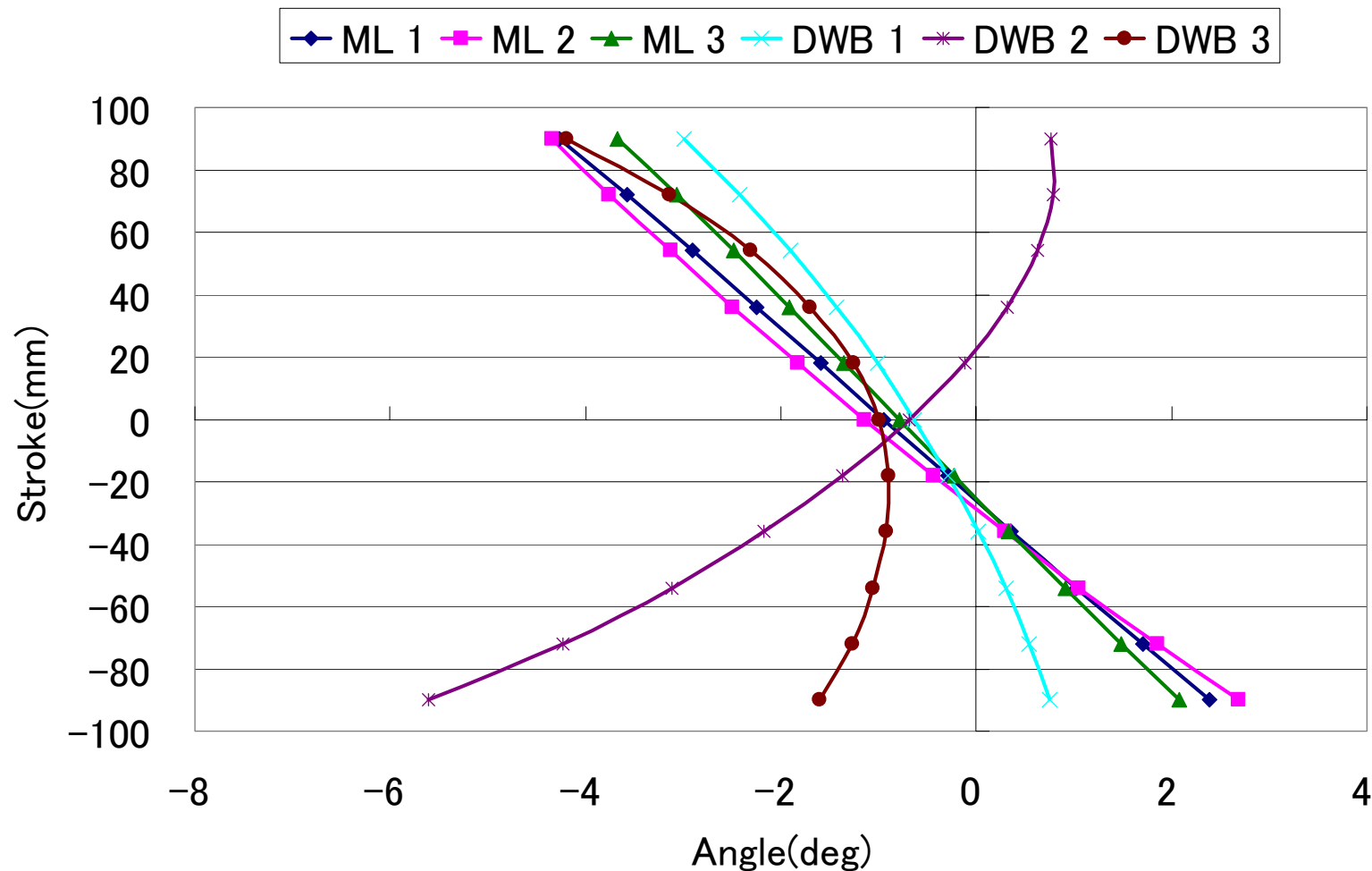
Stroke=90mmでのToe角

Toe Angle (stroke 90mm)



解析結果：静特性

その3

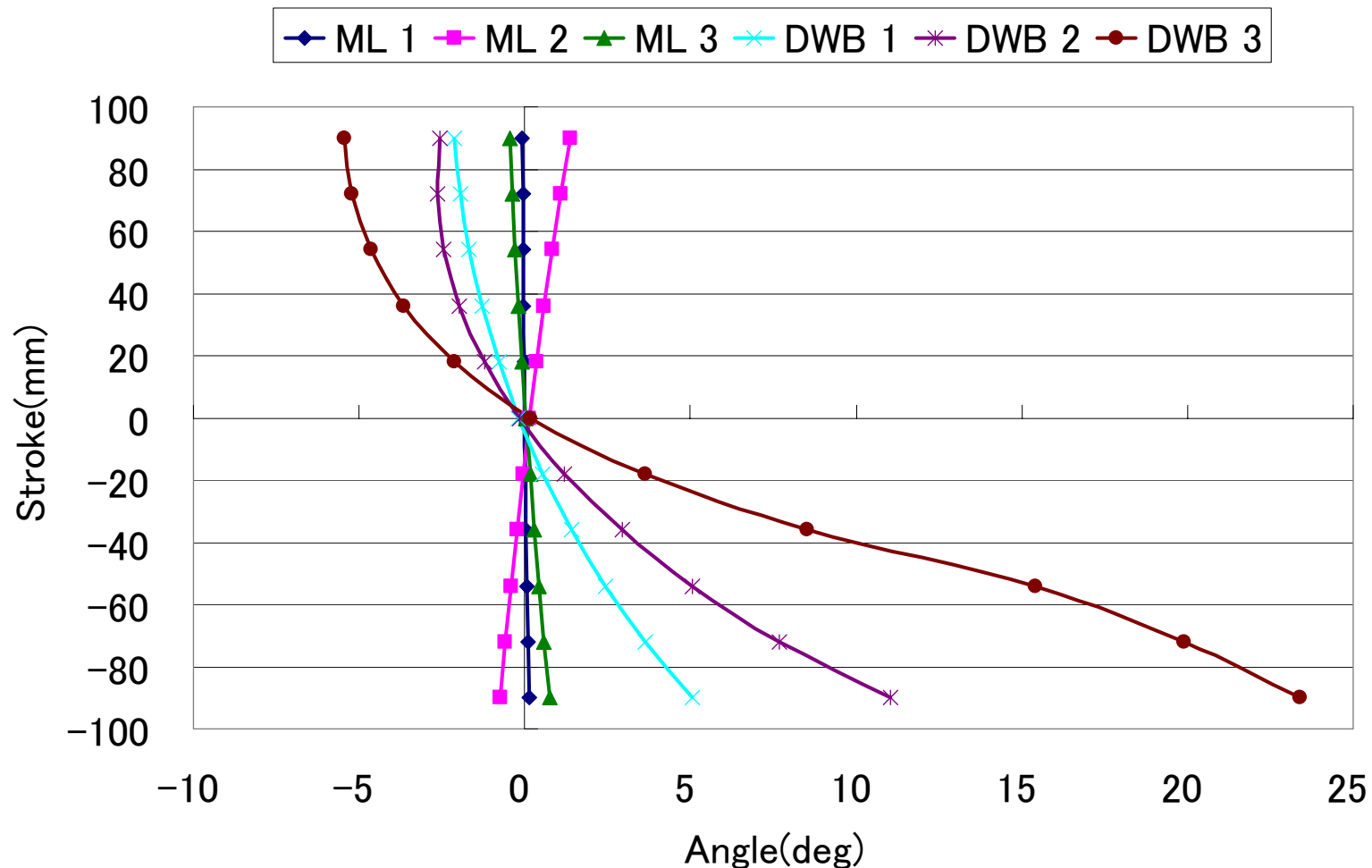
Multi Link(ML)及びDouble Wishbone(DWB)のCamber Angle
Camber Angle

解析結果： 静特性

その4

Multi Link(ML)及びDouble Wishbone(DWB)のToe Angle

Toe Angle



解析結果： 静特性

その5

MLモデルにおける静特性の分散分析結果

ML CAMBER 分散分析表									
		次数	自由度 f	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ
① trailing_body	x	1次	1	8.95758E+00	8.95758E+00	2.93122E+01	**	8.65198E+00	3.00%
		2次	1	7.91066E-01	7.91066E-01	2.58863E+00		4.85474E-01	0.17%
		3次	1	8.91517E-01	8.91517E-01	2.91734E+00		5.85925E-01	0.20%
	y	1次	1	6.46036E+00	6.46036E+00	2.11405E+01	**	6.15477E+00	2.14%
		2次	1	5.15950E-03	5.15950E-03	1.68836E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.21963E-01	1.21963E-01	3.99104E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	3.24751E+00	3.24751E+00	1.06269E+01	**	2.94191E+00	1.02%
		2次	1	6.71532E-03	6.71532E-03	2.19748E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	3.45337E-01	3.45337E-01	1.13006E+00		3.97451E-02	0.01%
② lower_link_outer	x	1次	1	1.78319E+01	1.78319E+01	5.83518E+01	**	1.75263E+01	6.08%
		2次	1	9.92303E-03	9.92303E-03	3.24715E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.66288E-01	1.66288E-01	5.44151E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	6.70991E-01	6.70991E-01	2.19571E+00		3.65399E-01	0.13%
		2次	1	6.96587E-03	6.96587E-03	2.27947E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	3.71901E-01	3.71901E-01	1.21698E+00		6.63088E-02	0.02%
	z	1次	1	6.68698E+01	6.68698E+01	2.18820E+02	**	6.65642E+01	23.11%
		2次	1	5.95726E-01	5.95726E-01	1.94942E+00		2.90134E-01	0.10%
		3次	1	4.13673E-02	4.13673E-02	1.35368E-01		0.00000E+00	0.00%
③ upper_lower_link_inner	x	1次	1	8.03017E+01	8.03017E+01	2.62774E+02	**	7.99961E+01	27.77%
		2次	1	1.79561E-01	1.79561E-01	5.87584E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	4.13368E-01	4.13368E-01	1.35268E+00		1.07776E-01	0.04%
	y	1次	1	5.65192E+00	5.65192E+00	1.84950E+01	**	5.34632E+00	1.86%
		2次	1	5.75637E-02	5.75637E-02	1.88368E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	7.84400E-02	7.84400E-02	2.56682E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	3.92263E+00	3.92263E+00	1.28362E+01	**	3.61704E+00	1.26%
		2次	1	1.75505E-01	1.75505E-01	5.74312E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.90436E-02	2.90436E-02	9.50404E-02		0.00000E+00	0.00%
④ upper_link_outer	x	1次	1	3.21274E+00	3.21274E+00	1.05132E+01	**	2.90715E+00	1.01%
		2次	1	1.08202E-01	1.08202E-01	3.54074E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	7.15356E-02	7.15356E-02	2.34089E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	6.65520E+00	6.65520E+00	2.17781E+01	**	6.34961E+00	2.20%
		2次	1	2.72526E-01	2.72526E-01	8.91796E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.02040E-03	2.02040E-03	6.61142E-03		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	6.98779E+01	6.98779E+01	2.28664E+02	**	6.95723E+01	24.15%
		2次	1	1.56571E+00	1.56571E+00	5.12352E+00	**	1.26011E+00	0.44%
		3次	1	2.79503E-01	2.79503E-01	9.14629E-01		0.00000E+00	0.00%
⑤ damper_lower	x	1次	1	1.13099E+00	1.13099E+00	3.70099E+00		8.25400E-01	0.29%
		2次	1	6.55902E-02	6.55902E-02	2.14633E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.97920E-01	1.97920E-01	6.47660E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	4.08334E-01	4.08334E-01	1.33621E+00		1.02742E-01	0.04%
		2次	1	1.05424E-01	1.05424E-01	3.44983E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	3.11320E-02	3.11320E-02	1.01875E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	1.40864E-03	1.40864E-03	4.60955E-03		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	2.10769E-01	2.10769E-01	6.89708E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.77098E-01	1.77098E-01	5.79525E-01		0.00000E+00	0.00%
誤差		18	5.50066E+00	3.05592E-01			1.43197E+01	4.97%	
合計		63	2.88076E+02				2.88076E+02	100.00%	

F(0.05) = 4.413872 F(0.01) = 8.285419

ML TOE 分散分析表									
		次数	自由度 f	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ
① trailing_body	x	1次	1	7.84105E-02	7.84105E-02	1.30960E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	5.16686E-02	5.16686E-02	8.62959E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.66683E-05	2.66683E-05	4.45409E-05		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	8.79633E-03	8.79633E-03	1.46915E-02		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.52448E-01	1.52448E-01	2.54616E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	8.30984E-02	8.30984E-02	1.38789E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	1.65318E+00	1.65318E+00	2.76111E+00		1.05444E+00	1.86%
		2次	1	2.85006E+00	2.85006E+00	4.76011E+00	*	2.25132E+00	3.97%
		3次	1	2.76279E-01	2.76279E-01	4.61435E-01		0.00000E+00	0.00%
② lower_link_outer	x	1次	1	7.87845E-02	7.87845E-02	1.31584E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	5.57019E-02	5.57019E-02	9.30323E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	8.56717E-02	8.56717E-02	1.43087E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	6.73250E-01	6.73250E-01	1.12445E+00		7.45122E-02	0.13%
		2次	1	1.25271E-02	1.25271E-02	2.09226E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.59736E-01	1.59736E-01	2.66788E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	5.00166E-01	5.00166E-01	8.35368E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.24349E-01	1.24349E-01	2.07686E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.08334E-02	2.08334E-02	3.47955E-02		0.00000E+00	0.00%
③ upper_lower_link_inner	x	1次	1	3.63953E-01	3.63953E-01	6.07867E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	7.15617E-02	7.15617E-02	1.19521E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.20829E-01	2.20829E-01	3.68824E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	5.48264E-01	5.48264E-01	9.15701E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	2.07185E-03	2.07185E-03	3.46037E-03		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.57135E-01	1.57135E-01	6.22444E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	1.38259E+01	1.38259E+01	2.30917E+01	**	1.32271E+01	23.30%
		2次	1	7.61621E+00	7.61621E+00	1.27204E+01	**	7.01747E+00	12.36%
		3次	1	1.30946E-01	1.30946E-01	2.18704E-01		0.00000E+00	0.00%
④ upper_link_outer	x	1次	1	1.79769E-01	1.79769E-01	3.00247E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.33454E-01	1.33454E-01	2.22893E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	9.96240E-02	9.96240E-02	1.66390E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.55937E-03	1.55937E-03	2.60443E-03		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	9.13072E-03	9.13072E-03	1.52500E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	3.40314E-03	3.40314E-03	5.68387E-03		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	7.45486E+00	7.45486E+00	1.24510E+01	**	6.85612E+00	12.08%
		2次	1	6.65509E-01	6.65509E-01	1.11152E+00		6.67713E-02	0.12%
		3次	1	2.61788E+00	2.61788E+00	4.37234E+00		2.01915E+00	3.56%
⑤ damper_lower	x	1次	1	7.89255E-04	7.89255E-04	1.31820E-03		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.80148E-02	1.80148E-02	3.00879E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	4.43777E-02	4.43777E-02	7.41188E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	2.59945E-02	2.59945E-02	4.34156E-02		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	4.04129E-02	4.04129E-02	6.74968E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	3.28625E-01	3.28625E-01	5.48863E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	1.09119E-01	1.09119E-01	1.82248E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	8.21822E-01	8.21822E-01	1.37259E+00		2.23084E-01	0.39%
		3次	1	3.63320E+00	3.63320E+00	6.06810E+00	*	3.03446E+00	5.35%
誤差		18	1.07773E+01	5.98737E-01			2.09422E+01	36.89%	
合計		63	5.67666E+01				5.67666E+01	100.00%	

F(0.05) = 4.413872 F(0.01) = 8.285419

解析結果： 静特性

その6

DWB モデルにおける静特性の分散分析結果

DWB CAMBER 分散分析表

	次数	自由度	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ
①upper_control_arm_front	x	1次	1.57319E+02	1.57319E+02	4.75048E+01	**	1.54007E+02	13.45%
		2次	5.10855E+00	5.10855E+00	1.54261E+00		1.79691E+00	0.16%
		3次	3.88700E+00	3.88700E+00	1.17374E+00		5.75362E-01	0.05%
	y	1次	9.15291E+01	9.15291E+01	2.76386E+01	**	8.82174E+01	7.71%
		2次	1.66999E+00	1.66999E+00	5.04278E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	4.72303E+00	4.72303E+00	1.42619E+00		1.41139E+00	0.12%
	z	1次	2.78893E+02	2.78893E+02	8.42161E+01	**	2.75582E+02	24.08%
		2次	2.05436E+02	2.05436E+02	6.20345E+01	**	2.02124E+02	17.66%
		3次	5.50031E+00	5.50031E+00	1.66090E+00		2.18868E+00	0.19%
②upper_control_arm_rear	x	1次	2.70281E+01	2.70281E+01	8.16155E+00	*	2.37165E+01	2.07%
		2次	4.87469E+00	4.87469E+00	1.47199E+00		1.56306E+00	0.14%
		3次	2.01947E+00	2.01947E+00	6.09809E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	2.58160E+01	2.58160E+01	7.79555E+00	*	2.25044E+01	1.97%
		2次	1.54758E+00	1.54758E+00	4.67315E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1.16825E+01	1.16825E+01	3.52772E+00		8.37089E+00	0.73%
	z	1次	9.63382E+00	9.63382E+00	2.90908E+00		6.32218E+00	0.55%
		2次	6.86089E-01	6.86089E-01	2.07175E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1.60697E+00	1.60697E+00	4.85251E-01		0.00000E+00	0.00%
③lower_control_arm_front	x	1次	4.48570E+00	4.48570E+00	1.35453E+00		1.17406E+00	0.10%
		2次	1.59405E+00	1.59405E+00	4.81346E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	2.64924E-04	2.64924E-04	7.99978E-05		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1.62651E+00	1.62651E+00	4.91149E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1.35460E+00	1.35460E+00	4.09042E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	4.63155E+00	4.63155E+00	1.39857E+00		1.31991E+00	0.12%
	z	1次	6.63212E+01	6.63212E+01	2.00267E+01	**	6.30095E+01	5.50%
		2次	1.39857E+00	1.39857E+00	4.22319E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	4.27574E-02	4.27574E-02	1.29112E-02		0.00000E+00	0.00%
④lower_control_arm_rear	x	1次	1.67769E+01	1.67769E+01	5.06604E+00	*	1.34653E+01	1.18%
		2次	7.90558E+00	7.90558E+00	2.38721E+00		4.59394E+00	0.40%
		3次	4.61672E+00	4.61672E+00	1.39409E+00		1.30508E+00	0.11%
	y	1次	4.30680E+01	4.30680E+01	1.30050E+01	**	3.97563E+01	3.47%
		2次	3.50201E+00	3.50201E+00	1.05749E+00		1.90377E-01	0.02%
		3次	4.21177E-01	4.21177E-01	1.27181E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	4.99481E+01	4.99481E+01	1.50826E+01	**	4.66365E+01	4.07%
		2次	3.70727E+00	3.70727E+00	1.11947E+00		3.95633E-01	0.03%
		3次	3.11220E-02	3.11220E-02	9.39778E-03		0.00000E+00	0.00%
⑤lower_strut_mount	x	1次	1.28420E+01	1.28420E+01	3.87785E+00		9.53041E+00	0.83%
		2次	3.06393E+00	3.06393E+00	9.25200E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	6.61655E-01	6.61655E-01	1.99797E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	4.26345E-06	4.26345E-06	1.28742E-06		0.00000E+00	0.00%
		2次	8.04275E+00	8.04275E+00	2.42863E+00		4.73112E+00	0.41%
		3次	2.91418E+00	2.91418E+00	8.79982E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	2.94042E-01	2.94042E-01	8.87906E-02		0.00000E+00	0.00%
		2次	4.60905E+00	4.60905E+00	1.39177E+00		1.29741E+00	0.11%
		3次	2.19888E+00	2.19888E+00	6.63986E-01		0.00000E+00	0.00%
誤差	18	5.96095E+01	3.31164E+00			1.68844E+02	14.75%	
合計	63	1.14463E+03		F(0.05) = 4.413872		1.14463E+03	100.00%	

DWB TOE 分散分析表

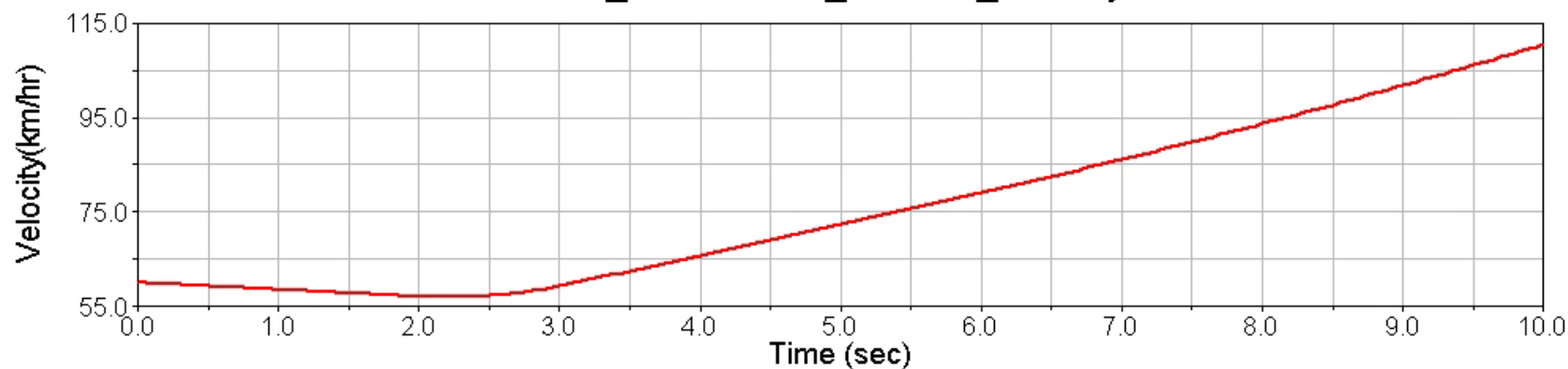
	次数	自由度	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ
①upper_control_arm_front	x	1次	1.62066E+02	1.62066E+02	9.15255E+00	**	1.44359E+02	5.32%
		2次	1.30612E+01	1.30612E+01	7.37619E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1.44537E+00	1.44537E+00	8.16261E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	2.41208E+01	2.41208E+01	1.36220E+00		6.41361E+00	0.24%
		2次	1.39202E+02	1.39202E+02	7.86132E+00	*	1.21495E+02	4.48%
		3次	4.54907E+01	4.54907E+01	2.56905E+00		2.77835E+01	1.02%
	z	1次	8.75810E+02	8.75810E+02	4.94607E+01	**	8.58102E+02	31.64%
		2次	5.31606E-01	5.31606E-01	3.00220E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	6.58769E+01	6.58769E+01	3.72035E+00		4.81697E+01	1.78%
②upper_control_arm_rear	x	1次	1.79289E+00	1.79289E+00	1.01252E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	7.65304E+01	7.65304E+01	4.32200E+00		5.88232E+01	2.17%
		3次	7.08162E+01	7.08162E+01	3.99929E+00		5.31090E+01	1.96%
	y	1次	1.44166E+00	1.44166E+00	8.14166E-02		0.00000E+00	0.00%
		2次	7.90844E+01	7.90844E+01	4.46623E+00	*	6.13772E+01	2.26%
		3次	6.13007E+01	6.13007E+01	3.46191E+00		4.35935E+01	1.61%
	z	1次	4.60863E+00	4.60863E+00	2.60269E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1.95787E+01	1.95787E+01	1.10569E+00		1.87150E+00	0.07%
		3次	8.77127E-01	8.77127E-01	4.95351E-02		0.00000E+00	0.00%
③lower_control_arm_front	x	1次	3.77695E+00	3.77695E+00	2.13300E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	4.43314E+00	4.43314E+00	2.50358E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	7.44399E-01	7.44399E-01	4.20393E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1.27262E+01	1.27262E+01	7.18700E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1.00644E+01	1.00644E+01	5.68381E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	3.45048E-02	3.45048E-02	1.94863E-03		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	8.45244E-02	8.45244E-02	4.77345E-03		0.00000E+00	0.00%
		2次	1.72823E+00	1.72823E+00	9.76003E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1.45455E+01	1.45455E+01	8.21444E-01		0.00000E+00	0.00%
④lower_control_arm_rear	x	1次	3.88487E+01	3.88487E+01	2.19395E+00		2.11415E+01	0.78%
		2次	1.78607E+00	1.78607E+00	1.00867E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1.00836E+01	1.00836E+01	5.69464E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1.12793E+02	1.12793E+02	6.36992E+00	*	9.50862E+01	3.51%
		2次	2.68795E+00	2.68795E+00	1.51800E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	3.51293E+00	3.51293E+00	1.98390E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	2.55496E+02	2.55496E+02	1.44289E+01	**	2.37789E+02	8.77%
		2次	5.34513E+00	5.34513E+00	3.01862E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	6.93247E+01	6.93247E+01	3.91508E+00		5.16175E+01	1.90%
⑤lower_strut_mount	x	1次	3.99637E+01	3.99637E+01	2.25692E+00		2.22565E+01	0.82%
		2次	9.72307E+00	9.72307E+00	5.49103E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	6.65834E+01	6.65834E+01	3.76025E+00		4.88762E+01	1.80%
	y	1次	2.14961E+01	2.14961E+01	1.21397E+00		3.78899E+00	0.14%
		2次	2.13978E+01	2.13978E+01	1.20843E+00		3.69064E+00	0.14%
		3次	2.95363E+00	2.95363E+00	1.66804E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	3.40468E+01	3.40468E+01	1.92277E+00		1.63396E+01	0.60%
		2次	1.73346E+00	1.73346E+00	9.78956E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	4.11588E+00	4.11588E+00	2.32441E-01		0.00000E+00	0.00%
誤差	18	3.18730E+02	1.77072E+01			7.86711E+02	29.00%	
合計	63	2.71239E+03		F(0.05) = 4.413872		2.71239E+03	100.00%	

解析結果： 動特性

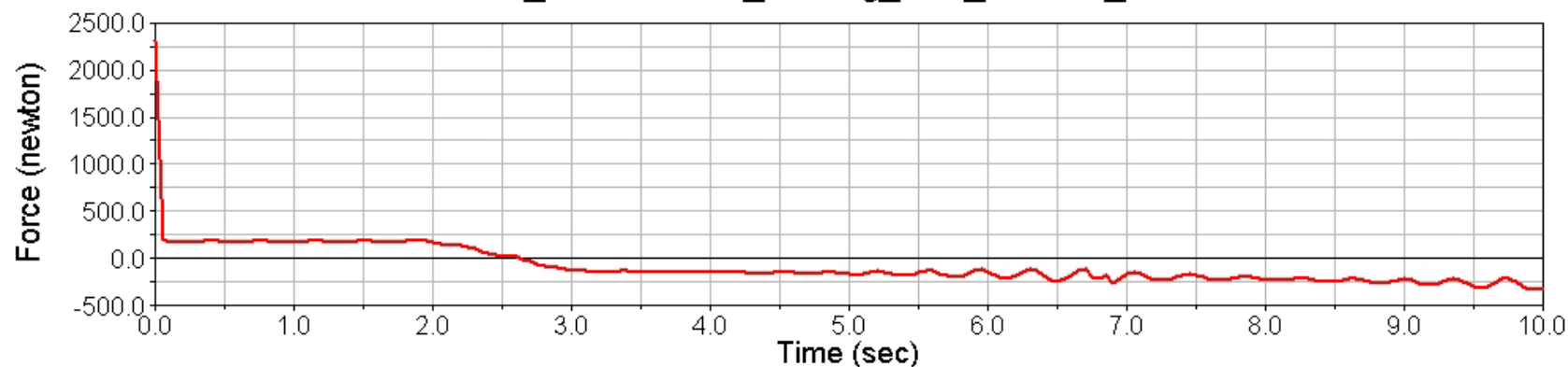
その1

Multi LinkのAcceleration解析結果

ML_Acceleration_Chassis_Velocity



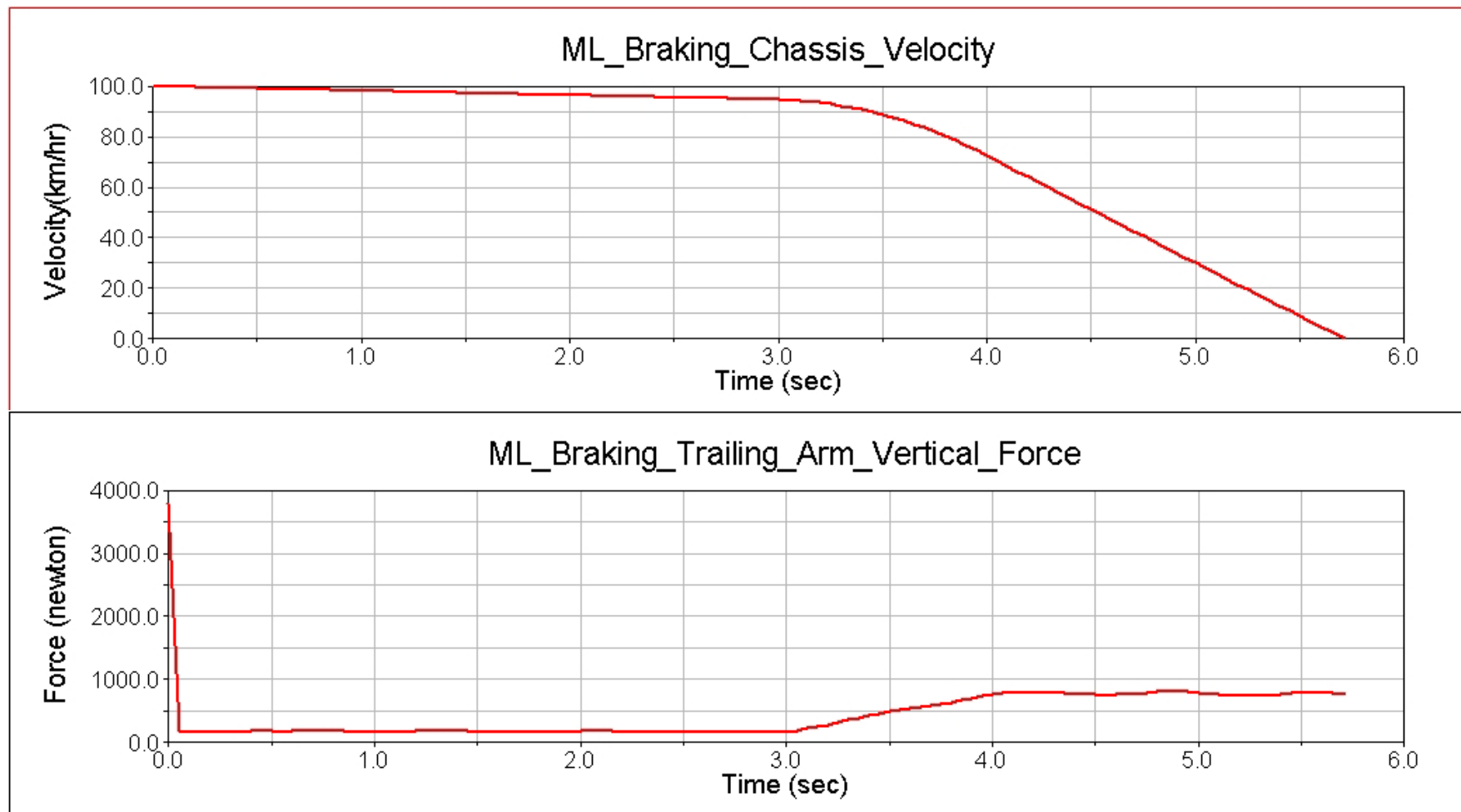
ML_Acceleration_Trailing_Arm_Vertical_Force



解析結果： 動特性

その2

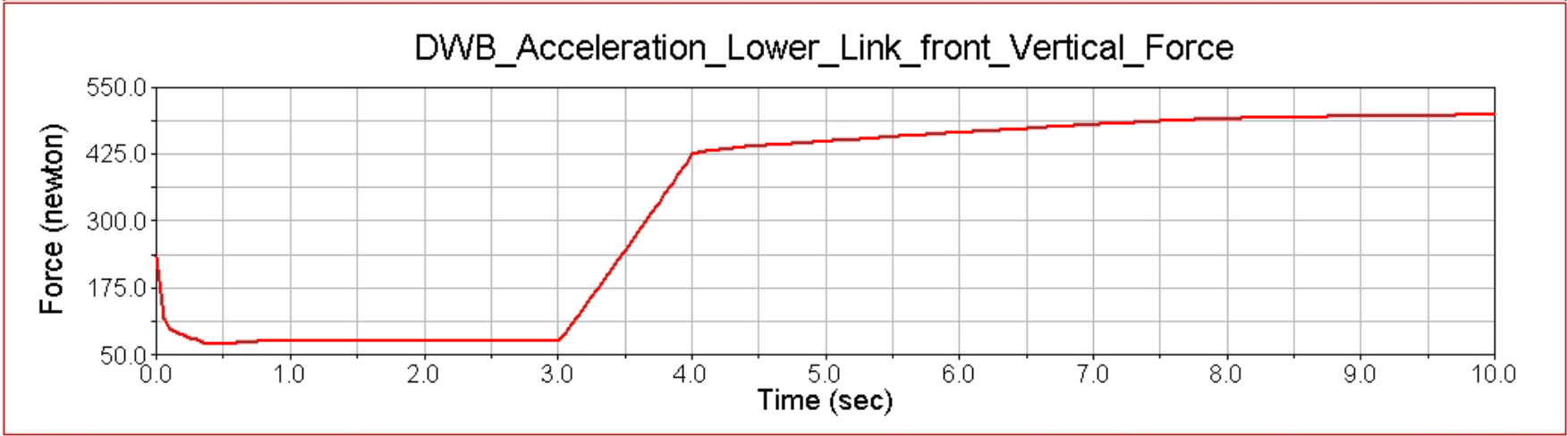
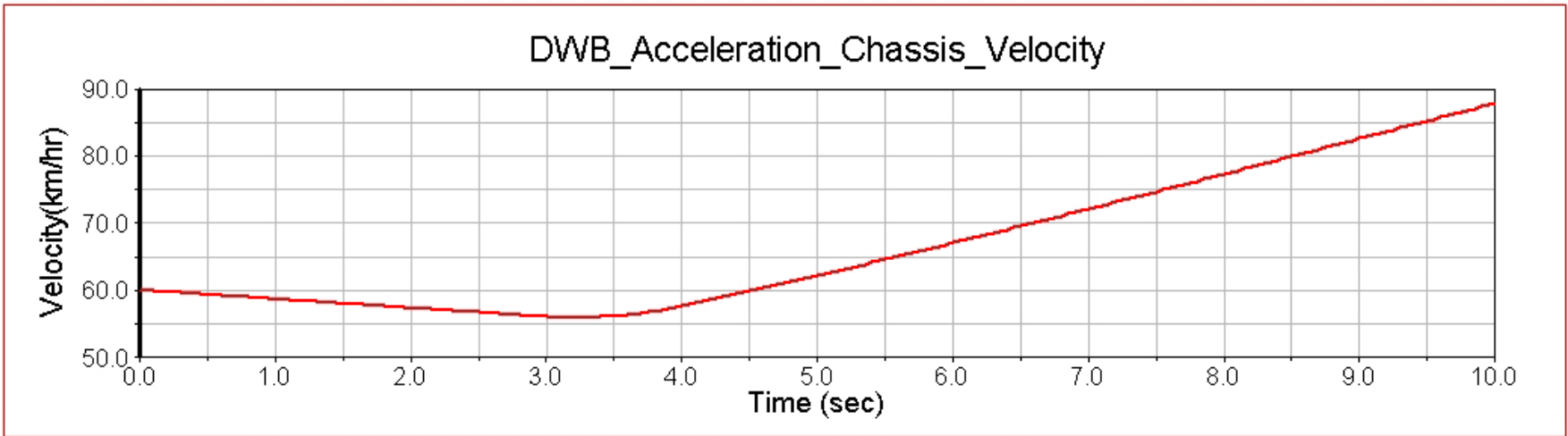
Multi LinkのBraking解析結果



解析結果： 動特性

その3

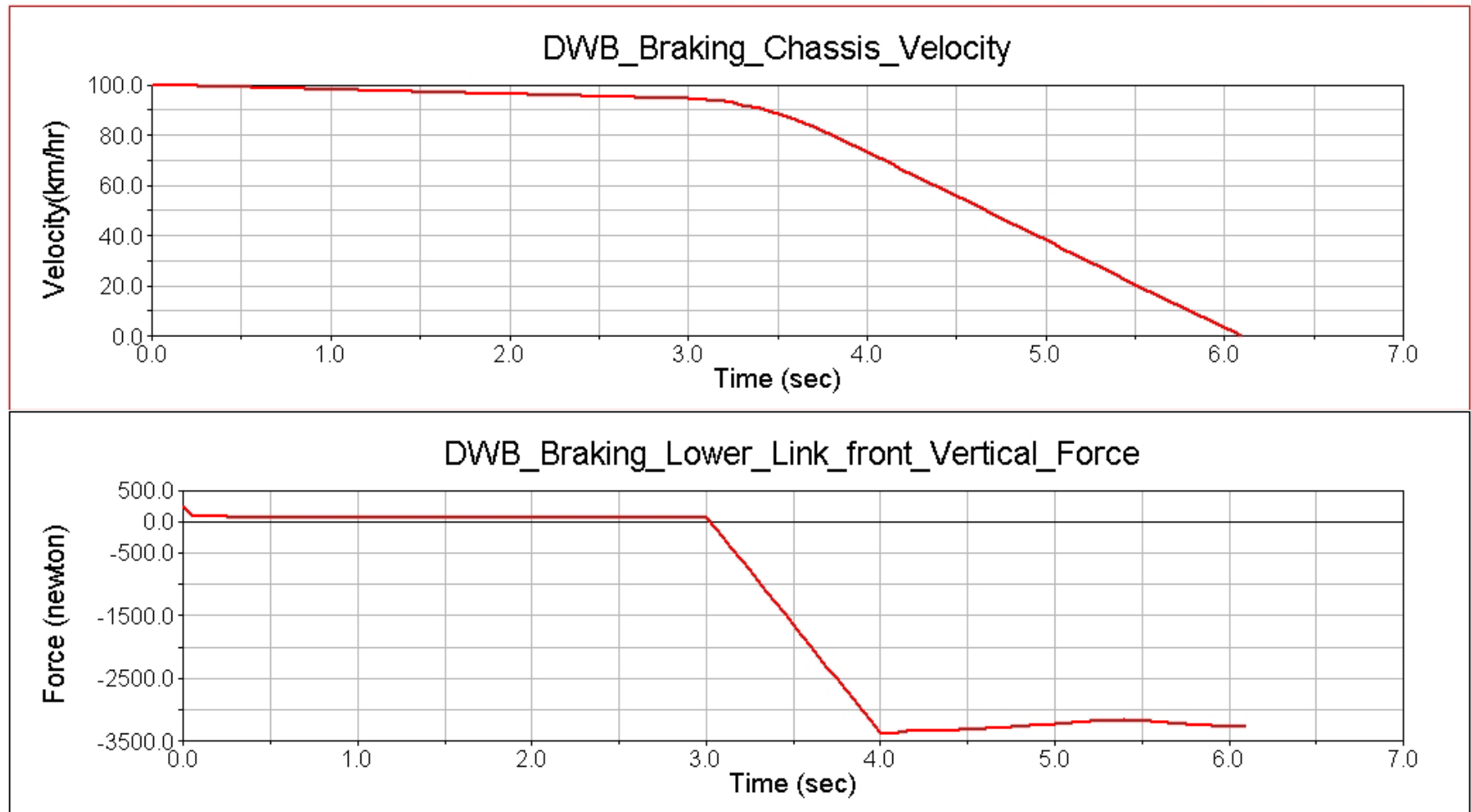
Double WishboneのAcceleration解析結果



解析結果： 動特性

その4

Double WishboneのBraking解析結果



解析結果： 動特性

その5

MLモデルにおける動特性の分散分析結果

ML (ACCELERATION) TRAILING ARM Fz 分散分析表

		次数	自由度 f	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ	
① trailing_body	x	1次	1	6.82148E+04	6.82148E+04	1.10864E+01	**	6.20618E+04	3.75%	
		2次	1	1.44853E+03	1.44853E+03	2.35418E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	2.99781E+04	2.99781E+04	4.87208E+00	*	2.38250E+04	1.44%	
	y	1次	1	8.75993E+05	8.75993E+05	1.42368E+02	**	8.69840E+05	52.54%	
		2次	1	1.85057E+04	1.85057E+04	3.00758E+00		1.23527E+04	0.75%	
		3次	1	5.82904E+03	5.82904E+03	9.47344E-01		0.00000E+00	0.00%	
	z	1次	1	7.46087E+04	7.46087E+04	1.21255E+01	**	6.84556E+04	4.13%	
		2次	1	2.94696E+04	2.94696E+04	4.78944E+00	*	2.33166E+04	1.41%	
		3次	1	6.25801E+04	6.25801E+04	1.01706E+01	**	5.64271E+04	3.41%	
	② lower_link_outer	x	1次	1	9.70581E+03	9.70581E+03	1.57740E+00		3.55278E+03	0.21%
			2次	1	2.94696E+04	2.94696E+04	4.78944E+00	*	2.33166E+04	1.41%
			3次	1	2.52400E+04	2.52400E+04	4.10204E+00		1.90870E+04	1.15%
y		1次	1	9.10157E+02	9.10157E+02	1.47920E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	9.79378E+04	9.79378E+04	1.59170E+01	**	9.17847E+04	5.54%	
		3次	1	9.70280E+03	9.70280E+03	1.57691E+00		3.54977E+03	0.21%	
z		1次	1	9.98459E+02	9.98459E+02	1.62271E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	3.25524E+04	3.25524E+04	5.29046E+00	*	2.63993E+04	1.59%	
		3次	1	1.90977E+03	1.90977E+03	3.10378E-01		0.00000E+00	0.00%	
③ upper_lower_link_inner		x	1次	1	2.18980E+03	2.18980E+03	3.55889E-01		0.00000E+00	0.00%
			2次	1	1.08171E+03	1.08171E+03	1.75801E-01		0.00000E+00	0.00%
			3次	1	5.18465E+03	5.18465E+03	8.42618E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.60428E+03	1.60428E+03	2.60730E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	1.08171E+03	1.08171E+03	1.75801E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	6.07752E+03	6.07752E+03	9.87727E-01		0.00000E+00	0.00%	
	z	1次	1	6.83414E+03	6.83414E+03	1.11070E+00		6.81113E+02	0.04%	
		2次	1	2.31516E+03	2.31516E+03	3.76263E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	5.28889E+01	5.28889E+01	8.59558E-03		0.00000E+00	0.00%	
	④ upper_link_outer	x	1次	1	3.08104E+03	3.08104E+03	5.00735E-01		0.00000E+00	0.00%
			2次	1	1.84755E+03	1.84755E+03	3.00286E-01		0.00000E+00	0.00%
			3次	1	6.74287E+01	6.74287E+01	1.09586E-02		0.00000E+00	0.00%
y		1次	1	1.46689E+04	1.46689E+04	2.38401E+00		8.51583E+03	0.51%	
		2次	1	1.49043E+03	1.49043E+03	2.42227E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	1.18257E+04	1.18257E+04	1.92193E+00		5.67266E+03	0.34%	
z		1次	1	6.91954E+02	6.91954E+02	1.12457E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	1.49043E+03	1.49043E+03	2.42227E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	5.12281E+04	5.12281E+04	8.32568E+00	**	4.50751E+04	2.72%	
⑤ damper_lower		x	1次	1	1.71228E+04	1.71228E+04	2.78282E+00		1.09697E+04	0.66%
			2次	1	3.27248E+03	3.27248E+03	5.31849E-01		0.00000E+00	0.00%
			3次	1	2.97166E+02	2.97166E+02	4.82959E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	2.46107E+03	2.46107E+03	3.99977E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	2.47545E+02	2.47545E+02	4.02314E-02		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	6.86688E+02	6.86688E+02	1.11602E-01		0.00000E+00	0.00%	
	z	1次	1	2.18111E+04	2.18111E+04	3.54477E+00		1.56580E+04	0.95%	
		2次	1	2.98069E+01	2.98069E+01	4.84427E-03		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	1.10840E+04	1.10840E+04	1.80139E+00		4.93096E+03	0.30%	
	誤差		18	1.10755E+05	6.15303E+03			2.80162E+05	16.92%	
	合計		63	1.65564E+06				1.65564E+06	100.00%	

F(0.05) = 4.413872 F(0.01) = 8.285419

ML (BRAKE) TRAILING ARM Fz 分散分析表

		次数	自由度 f	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ	
① trailing_body	x	1次	1	4.65135E+02	4.65135E+02	4.30076E-03		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	8.95072E+03	8.95072E+03	8.27607E-02		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	1.35859E+04	1.35859E+04	1.25619E-01		0.00000E+00	0.00%	
	y	1次	1	3.87033E+06	3.87033E+06	3.57861E+01	**	3.76218E+06	36.25%	
		2次	1	1.69038E+05	1.69038E+05	1.56297E+00		6.08857E+04	0.59%	
		3次	1	5.56390E+04	5.56390E+04	5.14453E-01		0.00000E+00	0.00%	
	z	1次	1	3.76436E+05	3.76436E+05	3.48062E+00		2.68284E+05	2.59%	
		2次	1	9.37381E+04	9.37381E+04	8.66727E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	3.70847E+04	3.70847E+04	3.42895E-01		0.00000E+00	0.00%	
	② lower_link_outer	x	1次	1	1.37448E+05	1.37448E+05	1.27088E+00		2.92965E+04	0.28%
			2次	1	9.37381E+04	9.37381E+04	8.66727E-01		0.00000E+00	0.00%
			3次	1	1.18503E+04	1.18503E+04	1.09571E-01		0.00000E+00	0.00%
y		1次	1	8.92382E+04	8.92382E+04	8.25120E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	3.53973E+04	3.53973E+04	3.27293E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	1.23664E+03	1.23664E+03	1.14343E-02		0.00000E+00	0.00%	
z		1次	1	4.65127E+04	4.65127E+04	4.30069E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	5.36687E+04	5.36687E+04	4.96235E-01		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	2.97028E+05	2.97028E+05	2.74640E+00		1.88876E+05	1.82%	
③ upper_lower_link_inner		x	1次	1	1.97539E+04	1.97539E+04	1.82650E-01		0.00000E+00	0.00%
			2次	1	1.41481E+05	1.41481E+05	1.30817E+00		3.33295E+04	0.32%
			3次	1	1.14347E+03	1.14347E+03	1.05729E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	7.24772E+02	7.24772E+02	6.70143E-03		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	1.41481E+05	1.41481E+05	1.30817E+00		3.33295E+04	0.32%	
		3次	1	2.22473E+05	2.22473E+05	2.05705E+00		1.14322E+05	1.10%	
	z	1次	1	3.30202E+04	3.30202E+04	3.05314E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	8.96146E+03	8.96146E+03	8.28600E-02		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	2.95917E+03	2.95917E+03	2.73613E-02		0.00000E+00	0.00%	
	④ upper_link_outer	x	1次	1	1.23575E+05	1.23575E+05	1.14261E+00		1.54236E+04	0.15%
			2次	1	3.72100E-01	3.72100E-01	3.44053E-06		0.00000E+00	0.00%
			3次	1	1.38507E+05	1.38507E+05	1.28068E+00		3.03557E+04	0.29%
y		1次	1	3.30609E+04	3.30609E+04	3.00690E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	2.55111E+05	2.55111E+05	2.35882E+00		1.46959E+05	1.42%	
		3次	1	2.82960E+04	2.82960E+04	2.61632E-01		0.00000E+00	0.00%	
z		1次	1	4.94021E+04	4.94021E+04	4.56785E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	2.55111E+05	2.55111E+05	2.35882E+00		1.46959E+05	1.42%	
		3次	1	1.29552E+05	1.29552E+05	1.19788E+00		2.14006E+04	0.21%	
⑤ damper_lower		x	1次	1	8.51904E+00	8.51904E+00	7.87693E-05		0.00000E+00	0.00%
			2次	1	1.29319E+05	1.29319E+05	1.19572E+00		2.11676E+04	0.20%
			3次	1	6.20318E+03	6.20318E+03	5.73562E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.51059E+04	1.51059E+04	1.39673E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	4.63557E+03	4.63557E+03	4.28617E-02		0.00000E+00	0.00%	
		3次	1	6.23672E+05	6.23672E+05	5.76664E+00	*	5.15520E+05	4.97%	
	z	1次	1	6.65162E+04	6.65162E+04	6.15027E-01		0.00000E+00	0.00%	
		2次	1	5.03546E+05	5.03546E+05	4.65592E+00	*	3.95392E+05	3.81%	
		3次	1	1.06270E+05	1.06270E+05	9.82602E-01		0.00000E+00	0.00%	
	誤差		18	1.94673E+06	1.08152E+05			4.59433E+06	44.27%	
	合計		63	1.03780E+07				1.03780E+07	100.00%	

F(0.05) = 4.413872 F(0.01) = 8.285419

解析結果： 動特性

その6

DWBモデルにおける動特性の分散分析結果

DWB (ACCELERATION) LOWER CONTROL ARM Fz 分散分析表

		次数	自由度	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ
①upper_control_arm_front	x	1次	1	9.22847E+04	9.22847E+04	7.99254E+00	*	8.07383E+04	5.69%
		2次	1	1.27115E+04	1.27115E+04	1.10091E+00		1.16514E+03	0.08%
		3次	1	1.19638E+04	1.19638E+04	1.03615E+00		4.17435E+02	0.03%
	y	1次	1	1.10265E+05	1.10265E+05	9.54973E+00	**	9.87183E+04	6.95%
		2次	1	1.88599E+04	1.88599E+04	1.63341E+00		7.31357E+03	0.52%
		3次	1	3.54101E+03	3.54101E+03	3.06678E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	4.83430E+04	4.83430E+04	4.18686E+00		3.67967E+04	2.59%
		2次	1	9.67306E+03	9.67306E+03	8.37759E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	9.68050E+03	9.68050E+03	8.38403E-01		0.00000E+00	0.00%
②upper_control_arm_rear	x	1次	1	3.83097E+04	3.83097E+04	3.31791E+00		2.67634E+04	1.89%
		2次	1	1.38009E+03	1.38009E+03	1.19526E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	8.23295E+03	8.23295E+03	7.13035E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.58803E+05	1.58803E+05	1.37535E+01	**	1.47256E+05	10.37%
		2次	1	7.05995E+01	7.05995E+01	6.11444E-03		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.44999E+04	1.44999E+04	1.25580E+00		2.95359E+03	0.21%
	z	1次	1	8.97356E+03	8.97356E+03	7.77177E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	2.09392E+03	2.09392E+03	1.81349E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.61748E+01	2.61748E+01	2.26693E-03		0.00000E+00	0.00%
③lower_control_arm_front	x	1次	1	2.72105E+04	2.72105E+04	2.35663E+00		1.56642E+04	1.10%
		2次	1	1.63544E+04	1.63544E+04	1.41641E+00		4.80801E+03	0.34%
		3次	1	1.82788E+04	1.82788E+04	1.58308E+00		6.73242E+03	0.47%
	y	1次	1	2.06652E+03	2.06652E+03	1.78978E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.80537E+03	1.80537E+03	1.56359E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.86461E+04	2.86461E+04	2.48096E+00		1.70997E+04	1.20%
	z	1次	1	3.00810E+03	3.00810E+03	2.60524E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	4.74455E+04	4.74455E+04	4.10913E+00		3.58991E+04	2.53%
		3次	1	7.70925E+04	7.70925E+04	6.67678E+00	*	6.55461E+04	4.62%
④lower_control_arm_rear	x	1次	1	1.32460E+04	1.32460E+04	1.14720E+00		1.69961E+03	0.12%
		2次	1	2.59048E+03	2.59048E+03	2.24354E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	3.56709E+02	3.56709E+02	3.08936E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.53597E+05	1.53597E+05	1.33026E+01	**	1.42050E+05	10.01%
		2次	1	5.27708E+04	5.27708E+04	4.57034E+00	*	4.12244E+04	2.90%
		3次	1	4.08761E+03	4.08761E+03	3.54017E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	3.24881E+04	3.24881E+04	2.81371E+00		2.09417E+04	1.48%
		2次	1	1.41126E+03	1.41126E+03	1.22226E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	7.38691E+04	7.38691E+04	6.39761E+00	*	6.23228E+04	4.39%
⑤lower_strut_mount	x	1次	1	2.02009E+04	2.02009E+04	1.74955E+00		8.65456E+03	0.61%
		2次	1	1.74665E+04	1.74665E+04	1.51273E+00		5.92018E+03	0.42%
		3次	1	1.92512E+04	1.92512E+04	1.66730E+00		7.70489E+03	0.54%
	y	1次	1	1.06632E+04	1.06632E+04	9.23515E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.20516E+04	1.20516E+04	1.04376E+00		5.05242E+02	0.04%
		3次	1	6.62257E+03	6.62257E+03	5.73564E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	1.02839E+02	1.02839E+02	8.90658E-03		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.92865E+04	1.92865E+04	1.67036E+00		7.74017E+03	0.55%
		3次	1	2.10825E+02	2.10825E+02	1.82590E-02		0.00000E+00	0.00%
誤差		18	2.07834E+05	1.15464E+04			5.73091E+05	40.37%	
合計		63	1.41973E+06				1.41973E+06	100.00%	

F(0.05) = 4.413872 F(0.01) = 8.285419

DWB (BRAKE) LOWER CONTROL ARM Fz 分散分析表

		次数	自由度	変動 S	分散 V	分散比 F0	危険率	純変動 S'	寄与率 ρ
①upper_control_arm_front	x	1次	1	2.83814E+06	2.83814E+06	5.54951E+00	*	2.32672E+06	3.65%
		2次	1	1.19756E+06	1.19756E+06	2.34162E+00		6.86134E+05	1.08%
		3次	1	3.61075E+05	3.61075E+05	7.06021E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	8.37456E+06	8.37456E+06	1.63751E+01	**	7.86314E+06	12.32%
		2次	1	9.37635E+04	9.37635E+04	1.83339E+01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.35731E+06	1.35731E+06	2.65399E+00		8.45889E+05	1.33%
	z	1次	1	3.60932E+06	3.60932E+06	7.05743E+00	*	3.09790E+06	4.86%
		2次	1	4.09823E+04	4.09823E+04	8.01341E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	8.76265E+05	8.76265E+05	1.71339E+00		3.64843E+05	0.57%
②upper_control_arm_rear	x	1次	1	1.12751E+06	1.12751E+06	2.20467E+00		6.16092E+05	0.97%
		2次	1	3.10250E+06	3.10250E+06	6.06643E+00	*	2.59108E+06	4.06%
		3次	1	2.97280E+04	2.97280E+04	5.81281E-02		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	2.28348E+06	2.28348E+06	4.46497E+00	*	1.77206E+06	2.78%
		2次	1	8.45692E+03	8.45692E+03	1.65361E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	4.29555E+05	4.29555E+05	8.39923E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	1.03056E+06	1.03056E+06	2.01508E+00		5.19136E+05	0.81%
		2次	1	6.66071E+04	6.66071E+04	1.30239E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	2.58645E+06	2.58645E+06	5.05737E+00	*	2.07503E+06	3.25%
③lower_control_arm_front	x	1次	1	2.84178E+06	2.84178E+06	5.56636E+00	*	2.33036E+06	3.65%
		2次	1	1.19969E+04	1.19969E+04	2.34579E-02		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	5.95823E+04	5.95823E+04	1.16503E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	7.05860E+05	7.05860E+05	1.38019E+00		1.94438E+05	0.30%
		2次	1	1.65957E+06	1.65957E+06	3.24501E+00		1.14815E+06	1.80%
		3次	1	1.88958E+06	1.88958E+06	3.69476E+00		1.37816E+06	2.16%
	z	1次	1	8.91103E+04	8.91103E+04	1.74240E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	1.50795E+05	1.50795E+05	2.94854E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.03574E+06	1.03574E+06	2.02522E+00		5.24318E+05	0.82%
④lower_control_arm_rear	x	1次	1	2.40380E+06	2.40380E+06	4.70023E+00	*	1.89238E+06	2.97%
		2次	1	5.98270E+05	5.98270E+05	1.16982E+00		8.68480E+04	0.14%
		3次	1	3.49542E+05	3.49542E+05	6.83470E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.28261E+06	1.28261E+06	2.50792E+00		7.71184E+05	1.21%
		2次	1	7.34796E+05	7.34796E+05	1.43677E+00		2.23374E+05	0.35%
		3次	1	3.90735E+06	3.90735E+06	7.64017E+00	*	3.39593E+06	5.32%
	z	1次	1	1.87959E+06	1.87959E+06	3.67522E+00		1.36817E+06	2.14%
		2次	1	5.25383E+05	5.25383E+05	1.02730E+00		1.39610E+04	0.02%
		3次	1	1.40380E+06	1.40380E+06	2.74489E+00		8.92374E+05	1.40%
⑤lower_strut_mount	x	1次	1	9.15038E+03	9.15038E+03	1.78920E-02		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	4.52161E+05	4.52161E+05	8.84126E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	8.72760E+04	8.72760E+04	1.70654E-01		0.00000E+00	0.00%
	y	1次	1	1.35796E+06	1.35796E+06	2.65527E+00		8.46540E+05	1.33%
		2次	1	4.67308E+05	4.67308E+05	9.13743E-01		0.00000E+00	0.00%
		3次	1	1.33287E+05	1.33287E+05	2.60620E-01		0.00000E+00	0.00%
	z	1次	1	2.21157E+05	2.21157E+05	4.32436E-01		0.00000E+00	0.00%
		2次	1	7.25808E+05	7.25808E+05	1.41920E+00		2.14386E+05	0.34%
		3次	1	1.95866E+05	1.95866E+05	3.82984E-01		0.00000E+00	0.00%
誤差		18	9.20559E+06	5.11422E+05			2.57600E+07	40.38%	
合計		63	6.37985E+07				6.37985E+07	100.00%	

F(0.05) = 4.413872 F(0.01) = 8.285419

解析結果： 考察

その1

Geometryとサスペンション特性との相関

ML

Geometryとサスペンション特性との相関

		Gamber	Toe	アンチダイブ	アンチスクオート
① trailing_body	x				
	y				
	z				
② lower_link_outer	x				
	y				
	z				
③ upper_lower_link_inner	x				
	y				
	z				
④ upper_link_outer	x				
	y				
	z				
⑤ damper_lower	x				
	y				
	z				

DWB

Geometryとサスペンション特性との相関

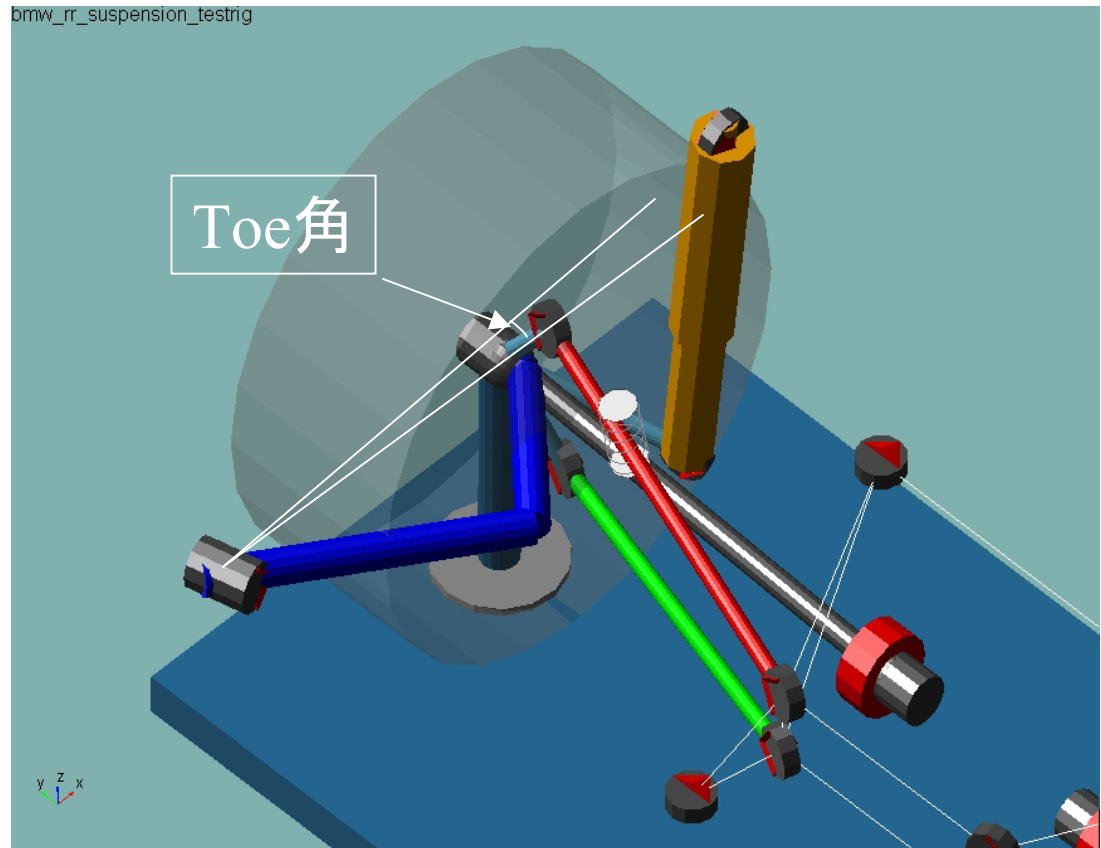
		Gamber	Toe	アンチダイブ	アンチスクオート
① upper_control_arm_front	x				
	y				
	z				
② upper_control_arm_rear	x				
	y				
	z				
③ lower_control_arm_front	x				
	y				
	z				
④ lower_control_arm_rear	x				
	y				
	z				
⑤ lower_strut_mount	x				
	y				
	z				

解析結果： 考察

その2

Geometryとサスペンション特性との相関

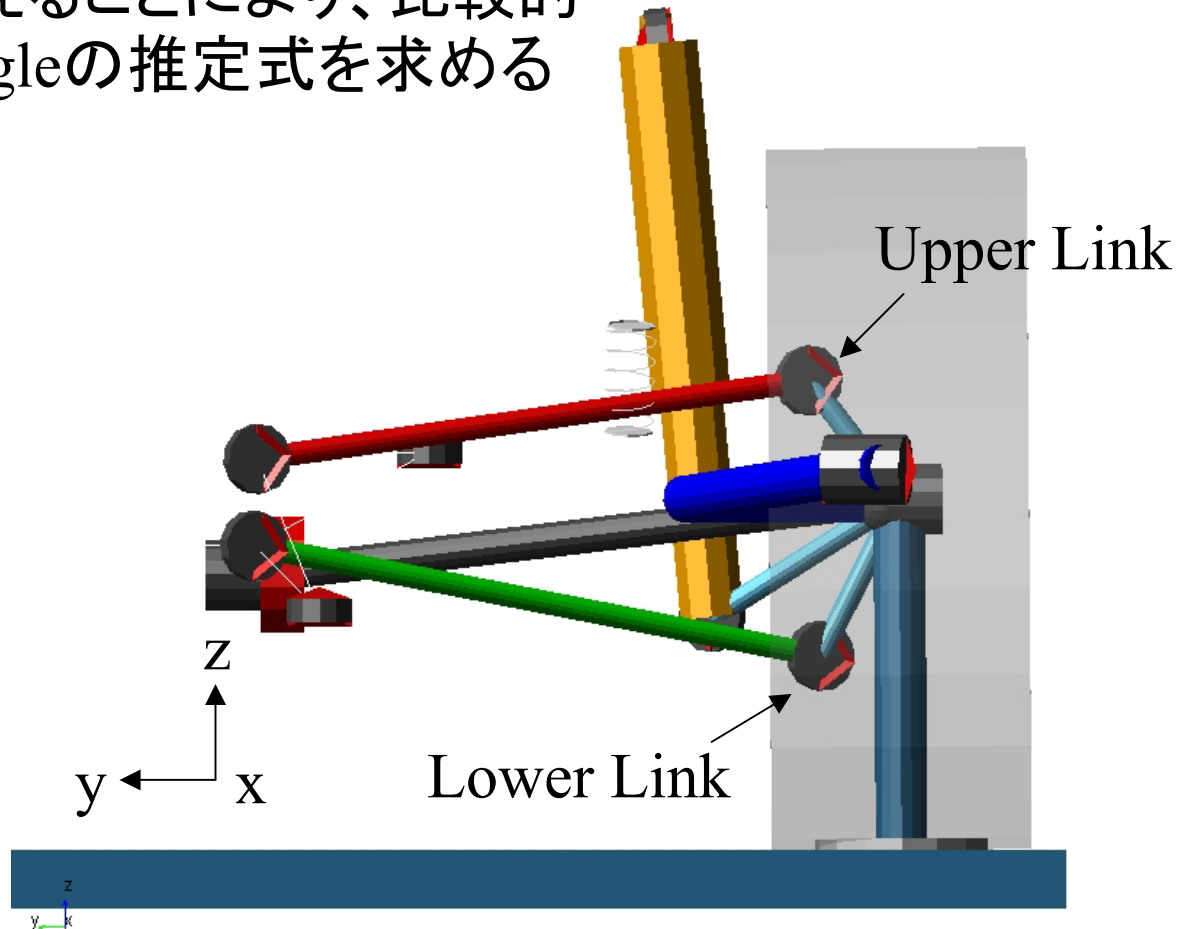
さらに, Toe角の基本的な大きさはTrailing Armによって規制され大きなToe角の変化が簡単に制御できている. また, 2次的な小さなToe変化は他のGeometryによって微調整される.



解析結果： 考察

その3

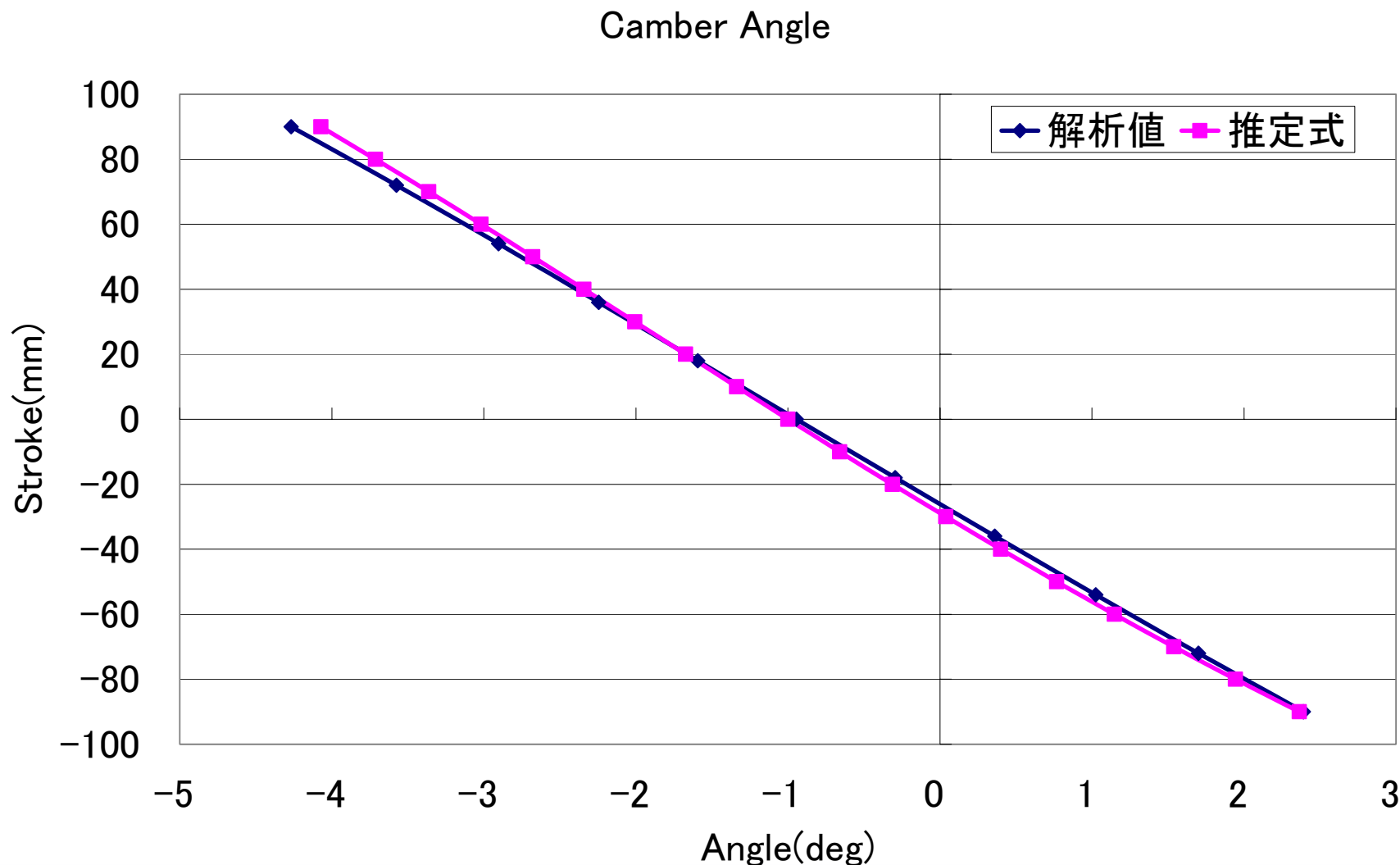
右図のUpper・Lower Linkの接合点座標のy方向変化を考えると、比較的簡単にCamber Angleの推定式を求めることができる



解析結果： 考察

その4

Multi LinkにおけるCamber Angleの解析値と推定式の比較 その1



まとめ

- 自動車のサスペンションシステムのコンセプト設計を行うための手法としてCAP(Computer Aided Principle)の概念を提案した。
- このアプローチは従来の設計支援手法と異なり, 直接に設計のデシジョンではなく, 設計コンセプトのキャパシティあるいは設計コンセプトの設計スペースを明らかにすることを目的として提案したものである.
- Multi LinkとDouble Wishboneサブシステムの静特性および動特性を検討することによって, 設計スペースを適切に共通化および分離化することができるMLシステムではより広い設計空間の確保, 設計目標の実現し安さ, 設計特性の安定性を実現できているように見える。
- このような結果を踏まえてコンパクトさの特徴を生かせながら, より安定で設計しやすいDouble Wishboneシステムの新たな設計コンセプトを見出すヒントが得られたのではないかと考えられる.