

# ICSC 2019

Core Competence Enhanced by MBD



## IDAJ CAE Solution Conference

### 电机极复杂形状参数优化案例介绍

IDAJ  
解析技術3部 内村 智也

# Agenda

- 序
- 优化中需要考虑的事
- 优化案例的介绍
  - 解析模型
  - 优化
  - 优化结果
- 总结

# 序

## ■背景

- 每年都有新的复杂形状的电机的出现

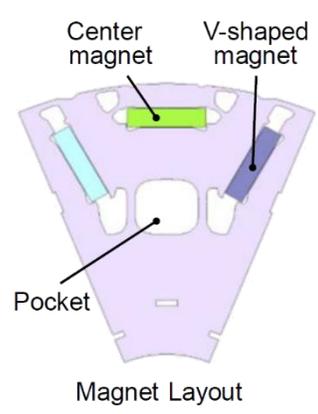
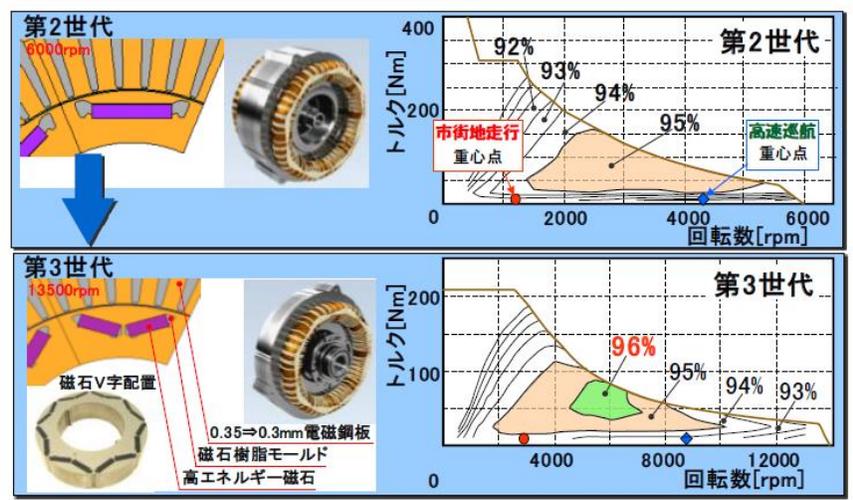
## ■课题

- 复杂形状的优化十分困难

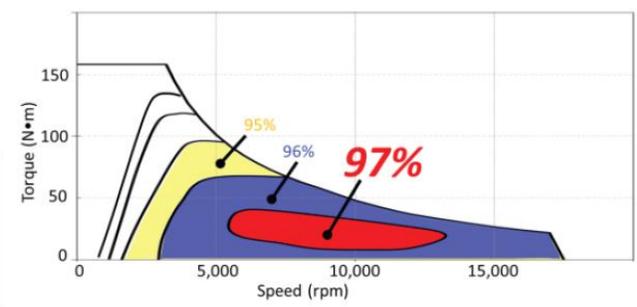
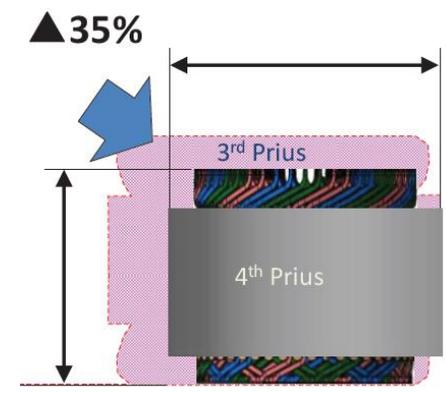
## ■目的

- 梳理复杂的形状优化，所必要的技术课题

丰田 普锐斯 案例(1),(2)



## 第4代



# 优化所需要考虑的事

# 优化所需要考虑的物理现象

## ■能考虑的物理现象

- 扭矩
- 扭矩波动
- 感应电压
- 齿槽转矩
- 退磁
- 应力
  - 论点：使用什么解析软件来计算？
- 损耗、效率
- 噪音、振动

## ■与工况点的关系

- 单一的动作条件（转速、电流幅值）+ 电流相位角
- 输出整个MAP
- 加上实际运行条件

## ■不需要考虑全部。

- 但是，根据每年调查的结果，不得不考虑的条件正在增加
- 无论如何都会增加解析次数
  - PSLlicense

# 建模

## ■ 用什么建模？

- CAD
- JMAG 几何编辑器

## ■ 为了使形状成立所必需的条件

- 几何学计算
  - 进行一定程度的几何计算、在JMAG计算前先进行OK/NG的判断的话，会导致很多的报错形状。
  - 优化算法在生成下一个优化形状时，能够判断形状的成立/不成立。

## ■ 探讨分布来实施优化的方法

- 对那些形状参数进行 · 不进行
  - 这次：磁钢两端的气孔不进行优化
  - 这次优化的第一步、先考虑没有磁钢气孔的优化。

## ■ 优化的案例

- 粗略形状
- 部分的详细形状
- 优化后的磁钢两侧气孔形状

# 优化案例的介绍

# 解析模型

## ■ 车辆驱动用电机

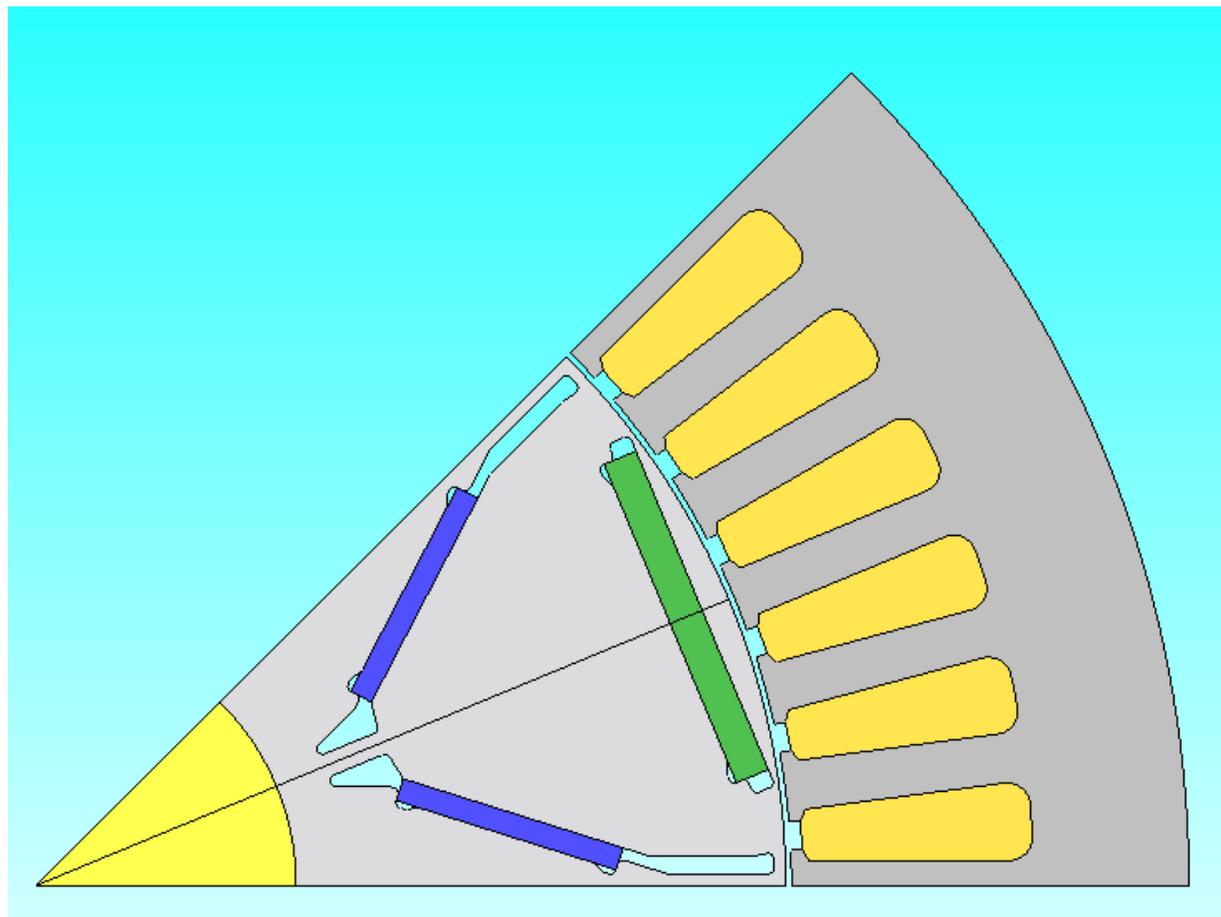
- 8极48槽
- 分布绕组

## ■ 建模

- JMAG-Designer的建模机能

## ■ 材料

- 转子/ 定子 : 35JN210
- 轴: S10C
- 磁铁 I型: N42SH-R / V型: N36Z



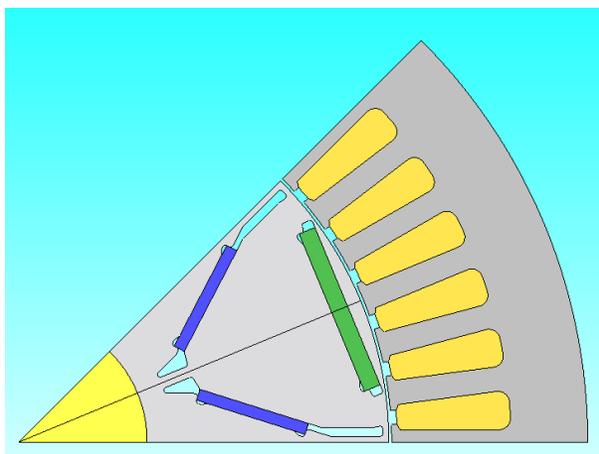
# 解析内容

## ■ 磁场解析 · 瞬态解析

- 2 D界面解析
- 电流: 300 [Arms]
- 转速: 2000 [rpm]

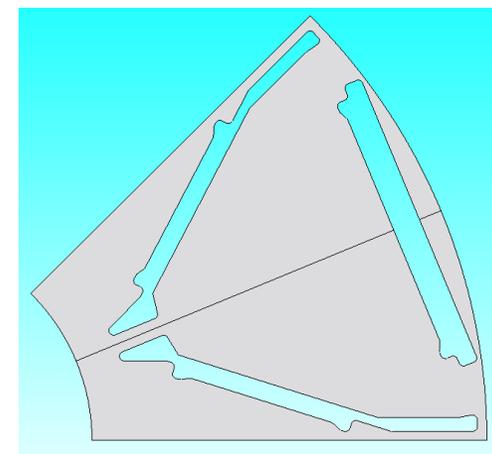
## ■ 铁损解析

- 后处理
  - 磁滞损：考虑Loop
  - 焦耳损：FFT
- 瞬态解析的焦耳损
- 磁钢损



## ■ 结构解析

- 只考虑转子
- 转速: 12000 [rpm]



# 优化：设计变量

## ■设计变量的数量：24个

- 电流相位角（最大扭矩电流相位的探索）
- 转子形状
  - 磁钢位置 / 磁钢形状 / 隔磁磁桥孔/隔磁磁桥
- 固定形状
  - 定子 / 线圈 / 转子内径 · 外径
  - 磁钢端部的槽

## ■进行阶段优化

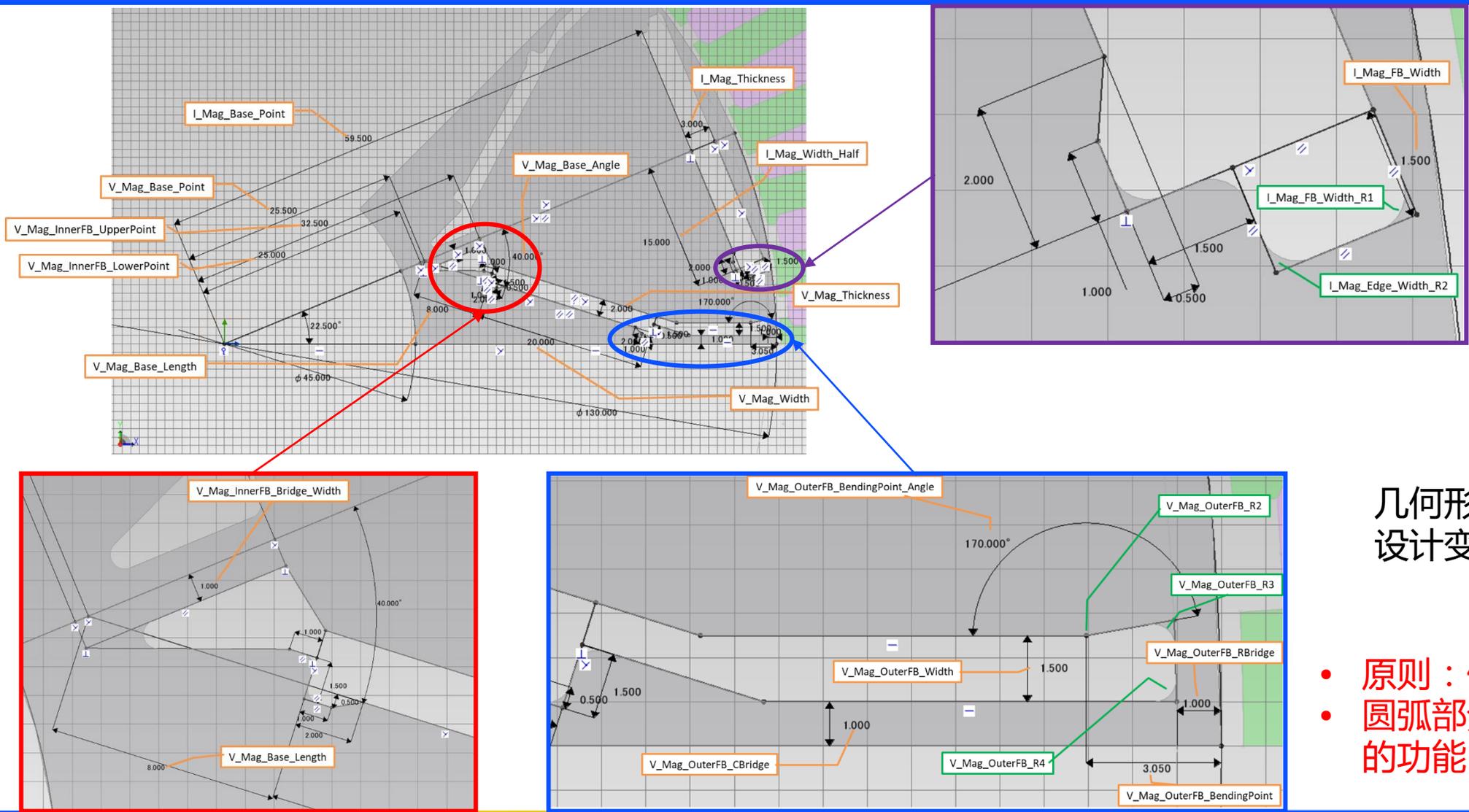
- 一开始决定形状、再使用形状进行相位角优化
- 使用得到的相位角、计算扭矩 · 扭矩波动 · 损耗
- 单独进行结构解析

几何形状：输入变量	下限值	上限值	间隔
V_Mag_InnerFB_UpperPoint	30	50	0.1
V_Mag_Base_Length	5	15	0.1
V_Mag_OuterFB_CBridge	0.5	5	0.1
V_Mag_OuterFB_R2	0.3	3	0.1
V_Mag_OuterFB_R4	0.3	3	0.1
V_Mag_OuterFB_R3	0.3	3	0.1
V_Mag_OuterFB_BendingPoint	2	10	0.1
I_Mag_Width_Half	3	20	0.1
V_Mag_Width	5	25	0.1
I_Mag_Edge_Width_R2	0.3	3	0.1
I_Mag_FB_Width_R1	0.3	3	0.1
V_Mag_OuterFB_Width	1	5	0.1
V_Mag_OuterFB_RBridge	0.5	3	0.1
I_Mag_Thickness	2.6	4	0.1
I_Mag_FB_Width	1.1	3	0.1
V_Mag_InnerFB_Bridge_Width	0.5	2	0.1
V_Mag_Base_Point	20	50	0.1
V_Mag_InnerEdge_Length	0.6	2	0.1
V_Mag_Thickness	2.6	4	0.1
V_Mag_OuterFB_BendingPoint_Angle	135	180	0.1
V_Mag_Base_Angle	20	60	0.1
I_Mag_Base_Point	50	60	0.1
V_Mag_InnerFB_LowerPoint	23	40	0.1

电流相位角：输入变量	下限值	上限值	间隔
beta	0	90	0.5



# 优化：设计变量（几何形状）

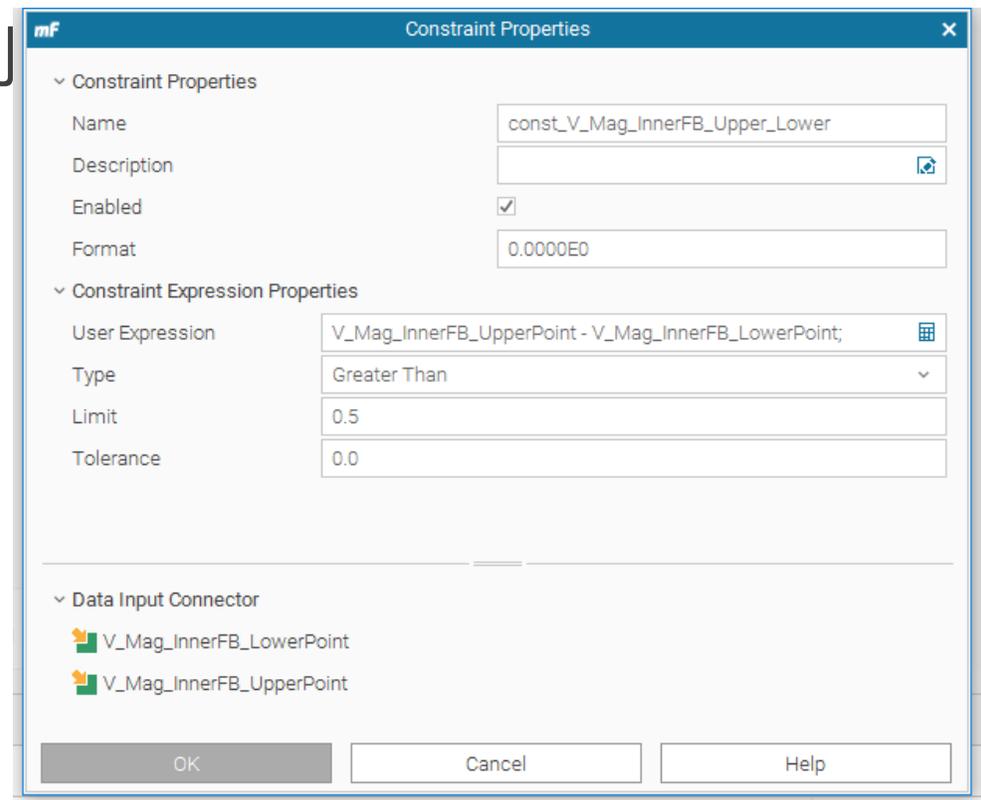


几何形状的  
设计变量合计23个

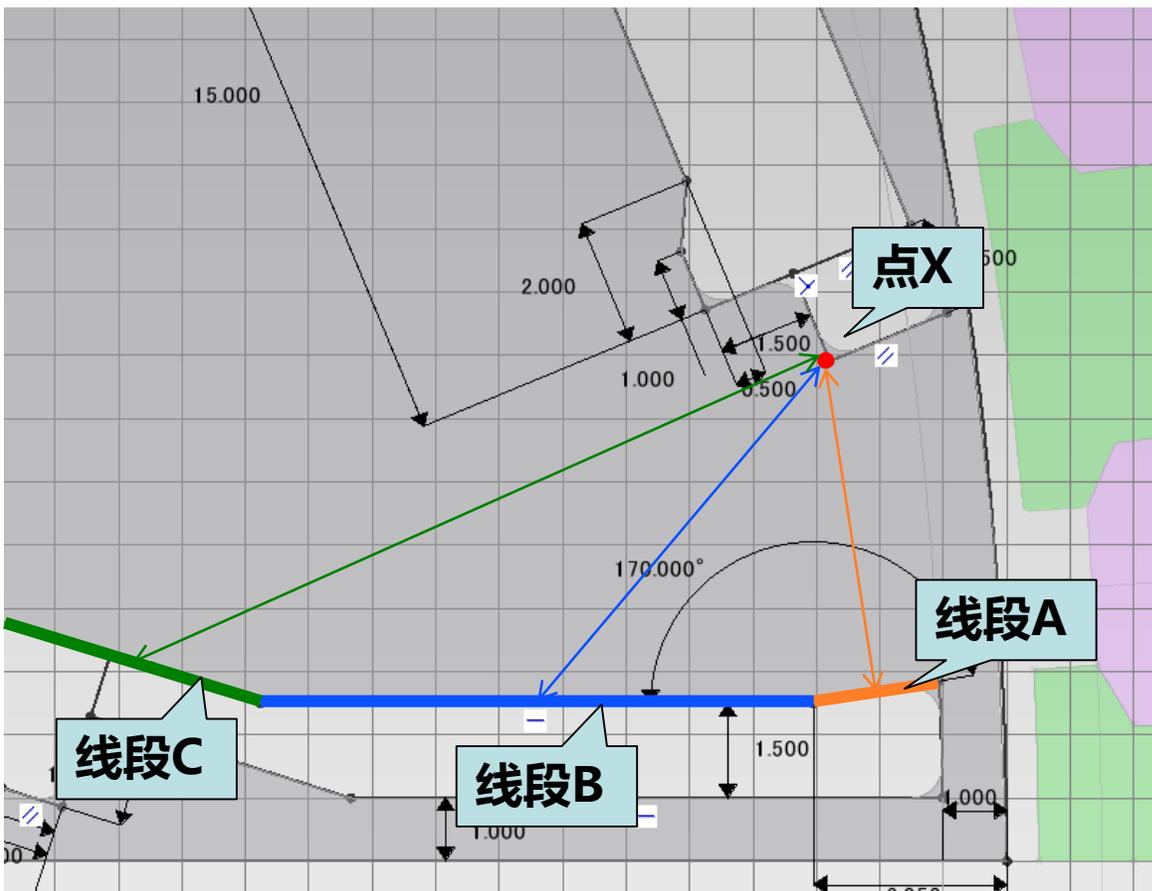
- 原则：使用直线建模
- 圆弧部分使用JMAG生成倒角的功能

# 约束条件

- 为了使优化算法在生成下一个优化形状时，能够判断形状的成立/不成立,需要设定几何的约束条件。
- 通常使用 sin, cos, tan 等函数来定义，复杂形状时很难使用这些函数来直接定义。
- 这里，为了高效地定义几何形状函数，我们
  - 设定函数组
    - 定义各个几何形状的函数
      - 点 / 圆弧 / 线段
    - 定义各个几何形状之间距离的函数
      - 点 · 点之间 / 点 · 线段之间 / 点 · 圆弧之间
      - 线段 · 线段之间 / 线段 · 圆弧之间
- 使用函数算出各个距离，保证他们大于阈值。



## 约束条件的示例



- 使用函数计算点X和线段A, B, C之间的距离
- 设定各个距离在阈值以上作为约束条件
  - 今次以0.5 [mm] 为阈值

## 优化条件和优化结果

### ■内侧

- 输入变量：只有相位角
- 目标函数：平均扭矩
- 优化算法：Simplex
- 最大次数：10次

### ■外侧

- 输入变量：几何形状
- 目的函数：平均扭矩 · 扭矩波动
- 约束条件：最大Misses应力 < 400MPa
- 优化算法：FAST (自己初期化)
- 最大次数：1000次

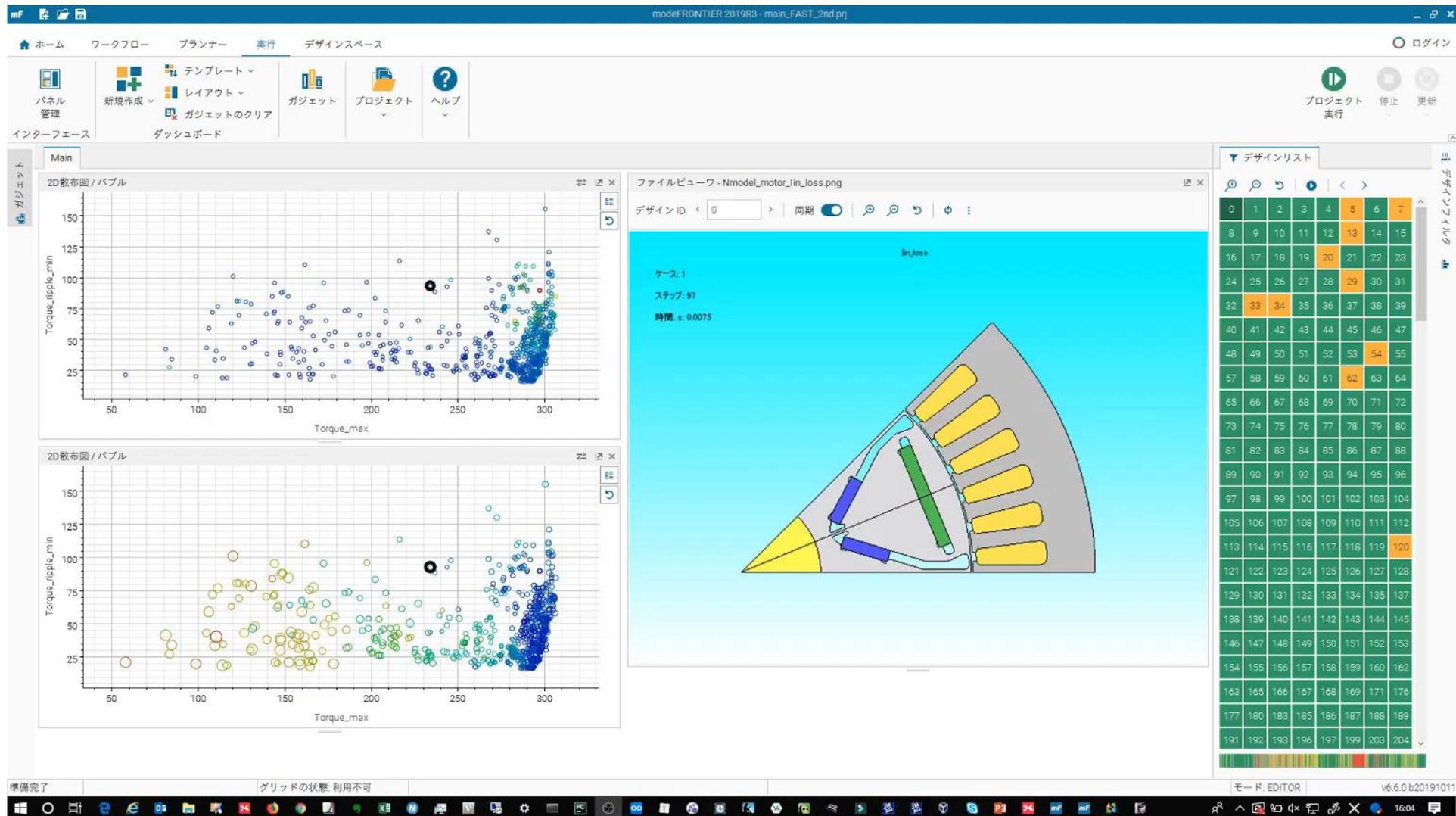
### ■计算时间

- 1Case22分左右 / 4并行  
(※JMAG是无并行、modeFRONTIER是4并行)

### ■优化结果

- 全 90小时 9分 45秒 (约4天)
- 总设计：1000个
- 错误形状：158个
- 不满足约束条件：180个(应力值超过约束)

# 优化DEMO



modeFRONTIER 2019R3 - main\_FAST\_2nd.prj

ホーム ワークフロー プランナー 実行 デザインスペース

パネル管理 新規作成 テンプレート レイアウト ガジェットのクリア ダッシュボード

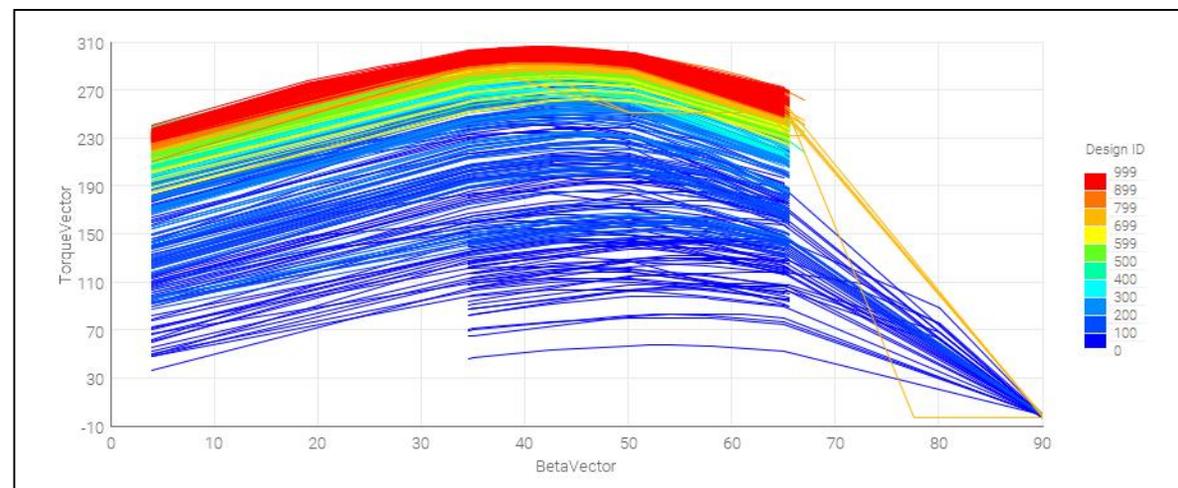
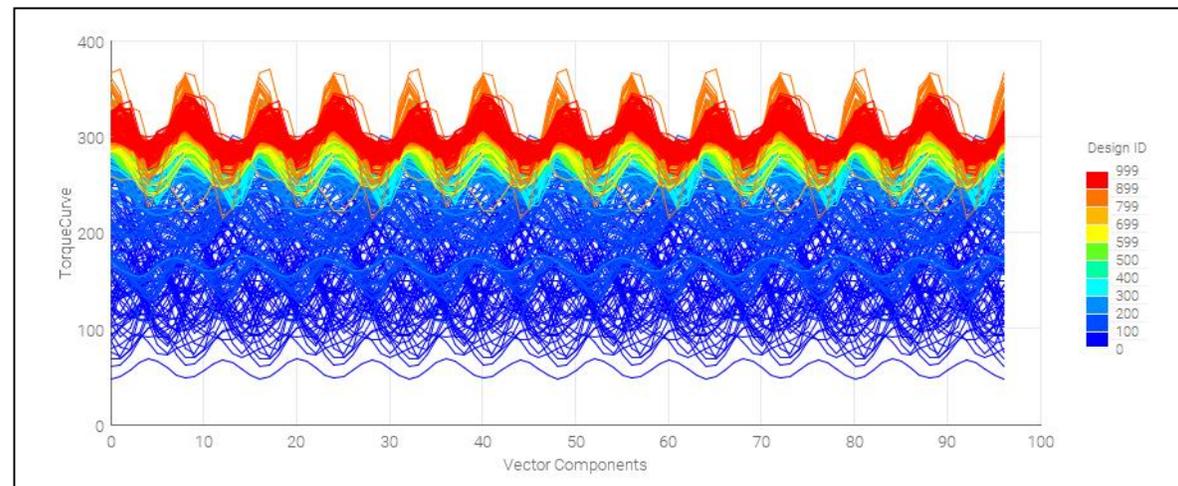
プロジェクト 実行 停止 更新

デザインリスト

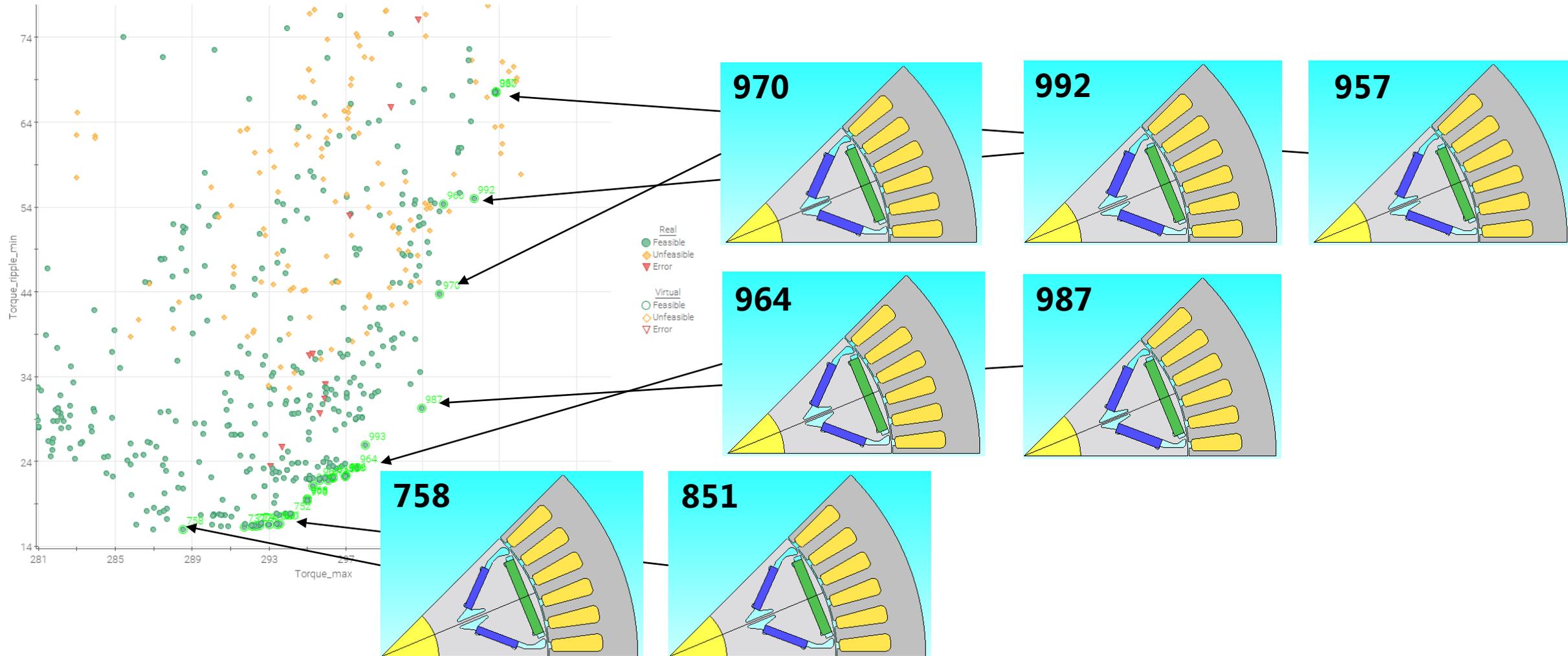
0	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55
57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88
89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111	112
113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128
129	130	131	132	133	134	135	137
138	139	140	141	142	143	144	145
146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	162
163	165	166	167	168	169	171	176
177	180	183	185	186	187	188	189
191	192	193	196	197	199	203	204

準備完了 グリッドの状態: 利用不可 モード: EDITOR v6.6.0 b20191011

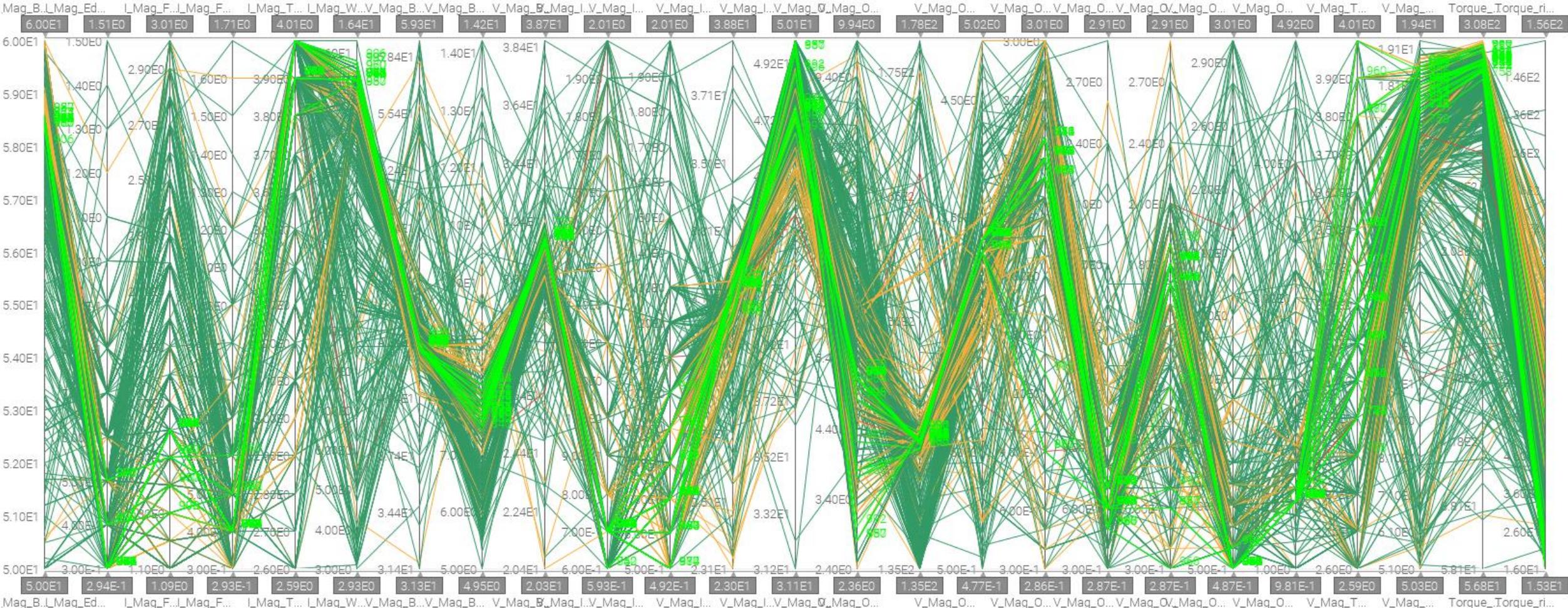
# 优化结果



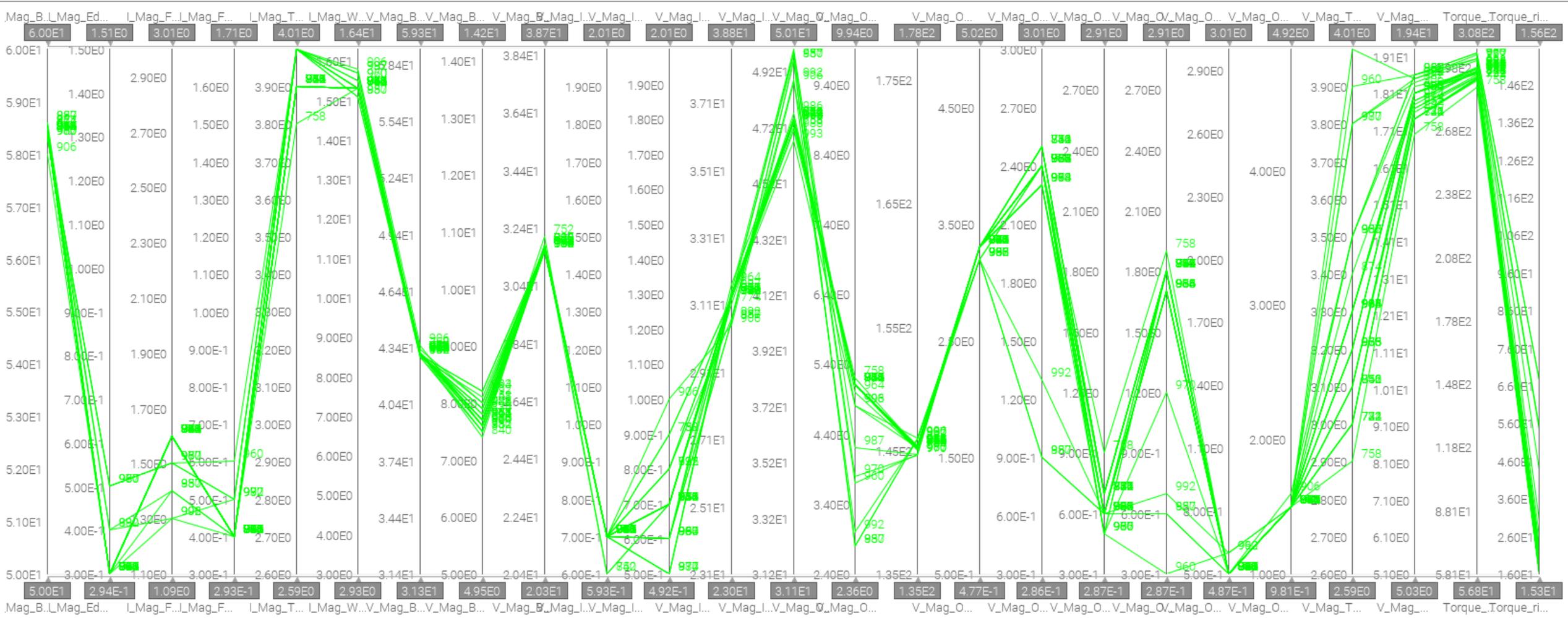
# 帕累托前沿



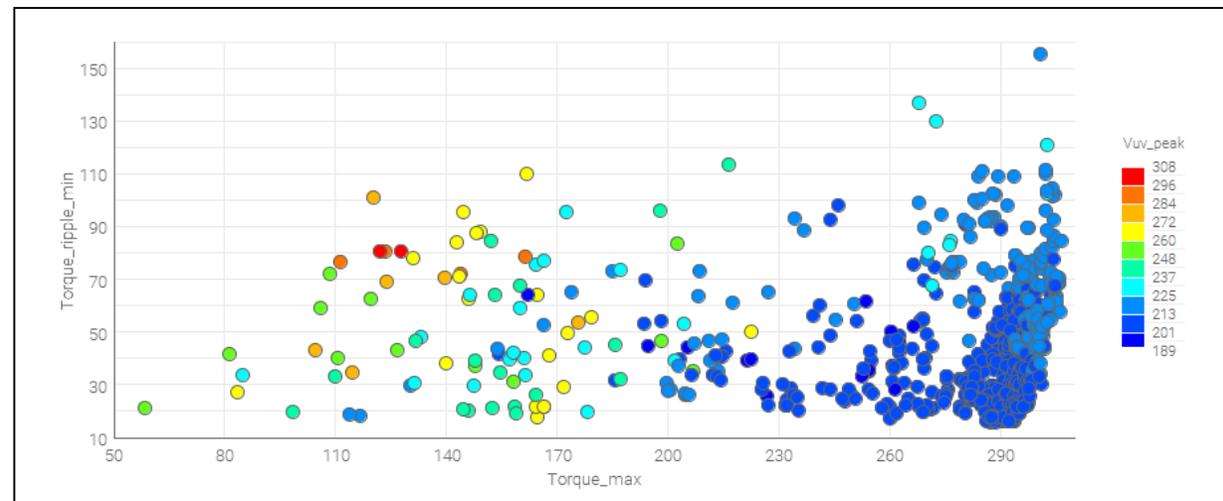
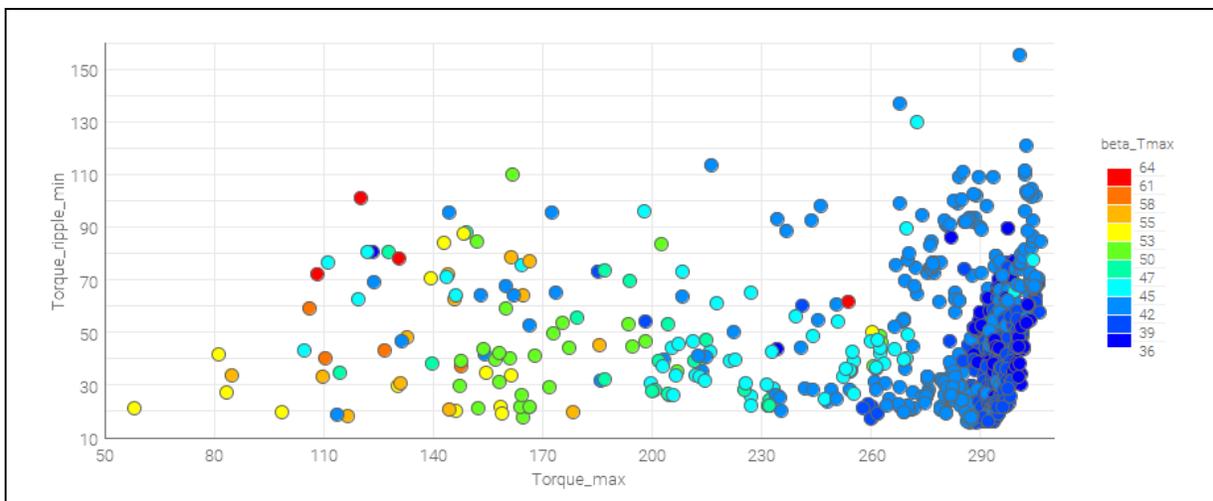
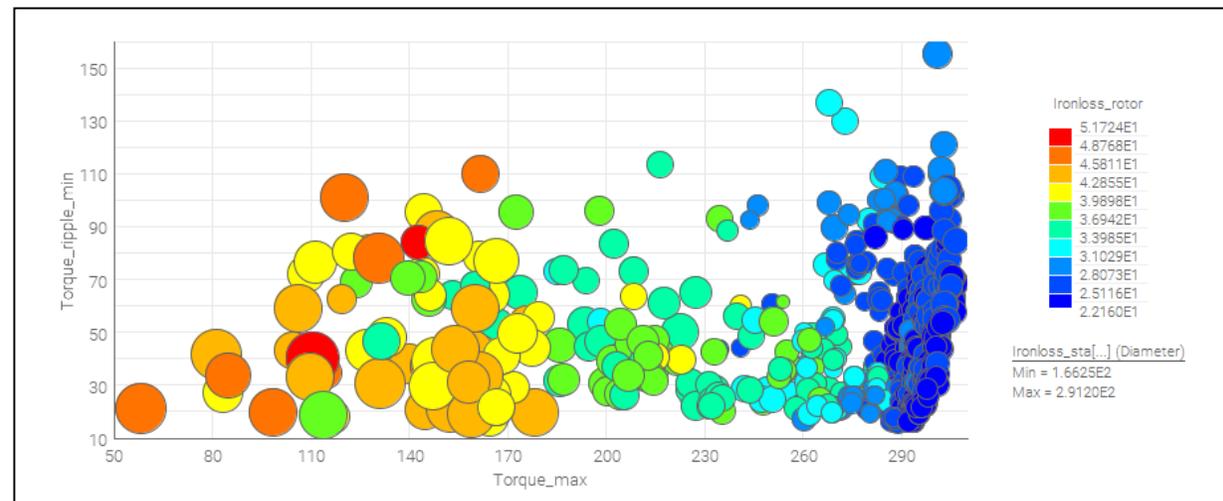
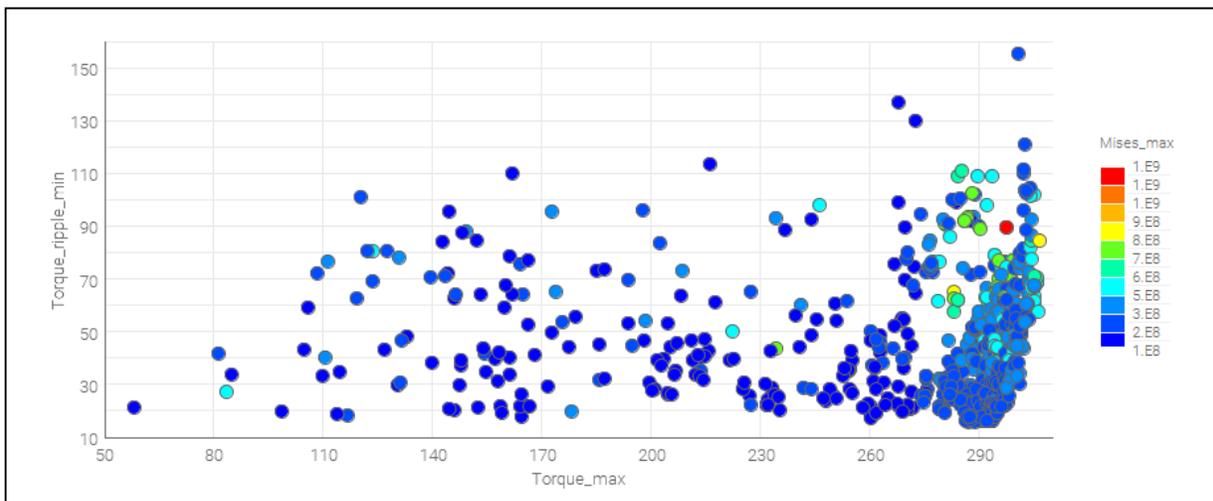
# 多维分析



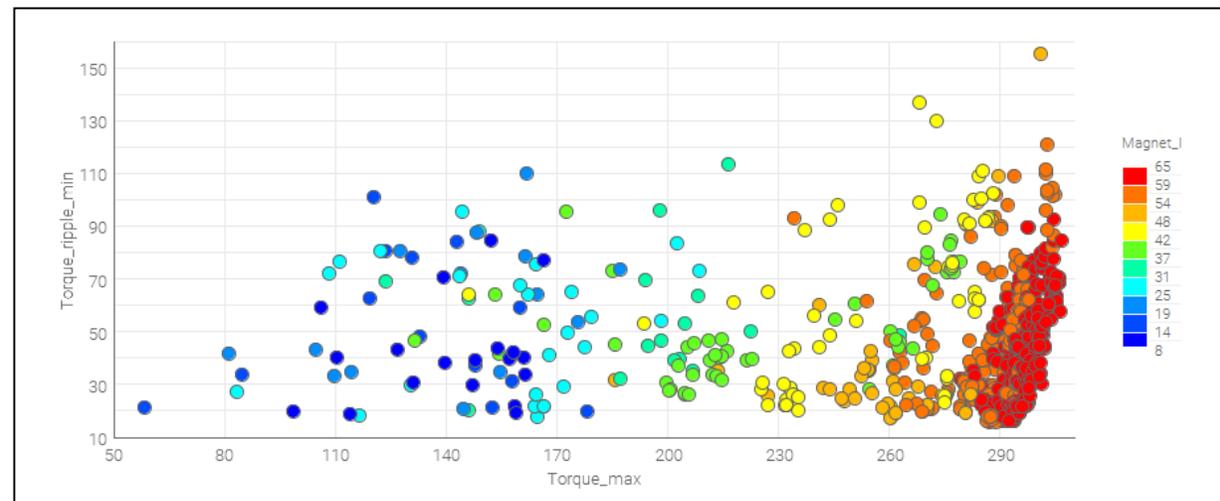
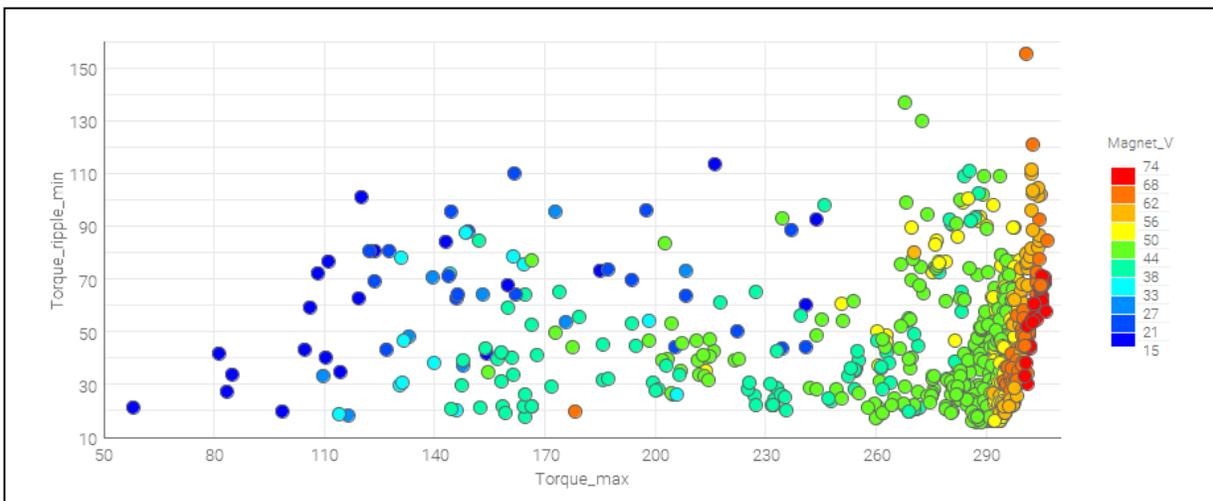
# 多维分析



# 优化结果



# 优化结果



## 优化结果的总结

- 扭矩和扭矩波动的最优解、约束为一个固定的形状。  
收敛为一个基本的形状参数，有一些微小的变更使得扭矩和扭矩波动有变化。
- 扭矩大的形状有以下特征。
  - 应力大
  - 损耗小
  - 电流相位为40度左右最好
  - 磁钢面积较大

# 总结

# 总结

- 优化了电机的复杂形状
- 分阶段优化
  - 什么需要考虑、什么不需要考虑
  - 没有正确答案
- 生成了Workflow
  - 考虑了约束条件
  - 分析了优化结果

感谢您的聆听！

## Appendix

(1) 水谷良治・松本博幸・渋川祐一・山本恵一

「自動車用モータの要素技術」

電気学会産業応用部門全国大会, 4-S8-5, pp.IV-71-76 (2012)

(2) 水谷良治・春野健太郎・水谷竜彦：

「自動車用電動力応用システムの技術動向 I – 丰田における小型ハイブリッド車用  
新型モータの開発 –」

電気学会産業応用部門全国大会, 4-S10-6, pp.IV-57-62 (2017)

# 艾迪捷信息技术(上海)有限公司



## 联系我们

——咨询/技术培训/专题活动

- 网站: <https://www.idaj.cn/>
- 邮箱: [idaj.marketing@idaj.cn](mailto:idaj.marketing@idaj.cn)
- 电话: 021-50588290; 010-65881497

扫一扫，关注艾迪捷  
第一时间获得更多产品介绍/成功案例/市场活动