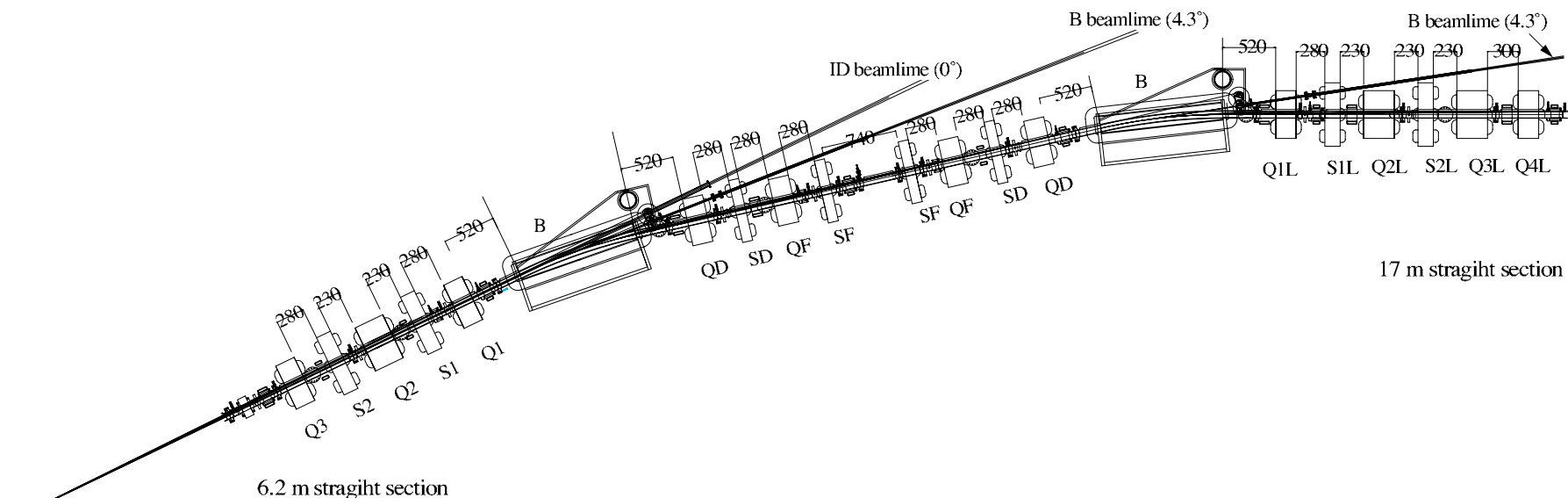


電磁石および電源

小関忠(理研)、小林幸則(高工研)、篠江憲治(物性研)

1. 電磁石システムの仕様
2. 主電磁石
3. 主電磁石電源
4. 補正電磁石システム

電磁石の数、基本仕様



電磁石の種類と数

	Number of magnets
Dipoles	28
Quadrupoles	144
Sextupoles	112
Fast steerings	~ 70
DC steerings	~100
Skew quadrupoles	~ 4

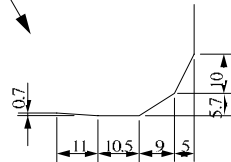
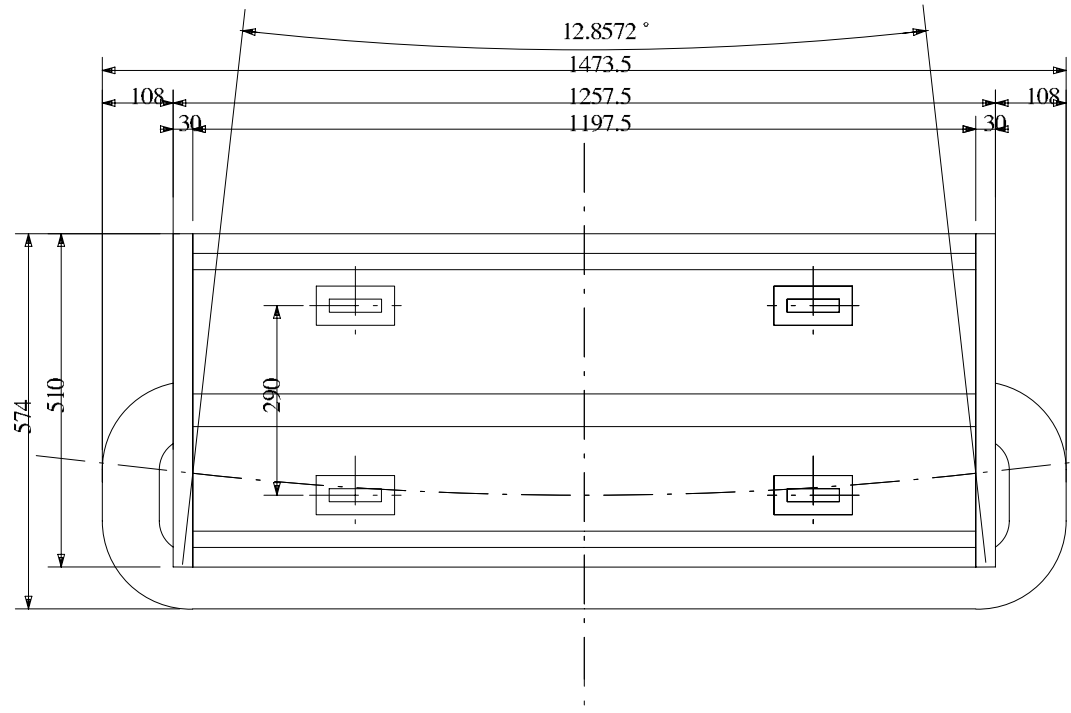
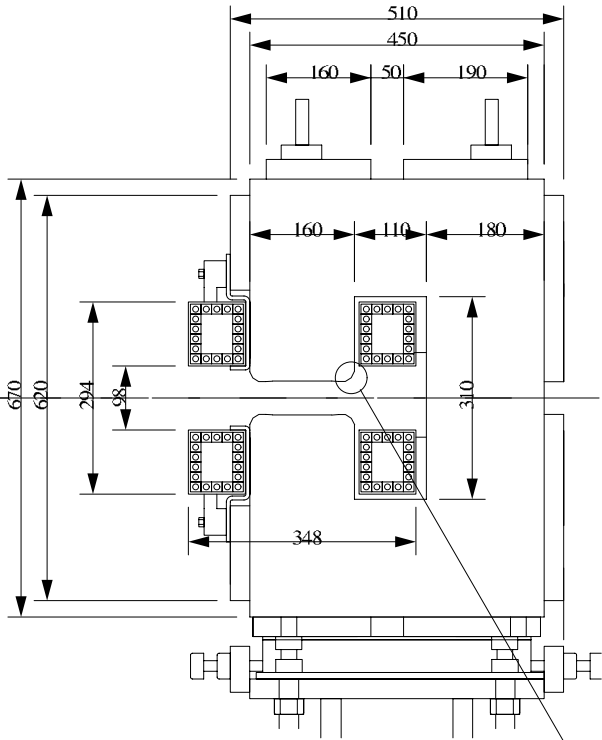
主電磁石の基本仕様

	Dipoles	Quadrupoles	Sextupoles
Max. field strength	1.248 T	23 T/m	500 T/m ²
Gap or Bore diameter	52 mm	70 mm	80 mm
Good field region	± 30 mm	± 25 mm	± 25 mm
Field uniformity	< 5 10 ⁻⁴	< 5 10 ⁻⁴	< 5 10 ⁻⁴

- ・設置スペースが狭い
- ・ビームラインと干渉
- ・高い一様性・安定度
- ・高い磁場強度

偏向電磁石

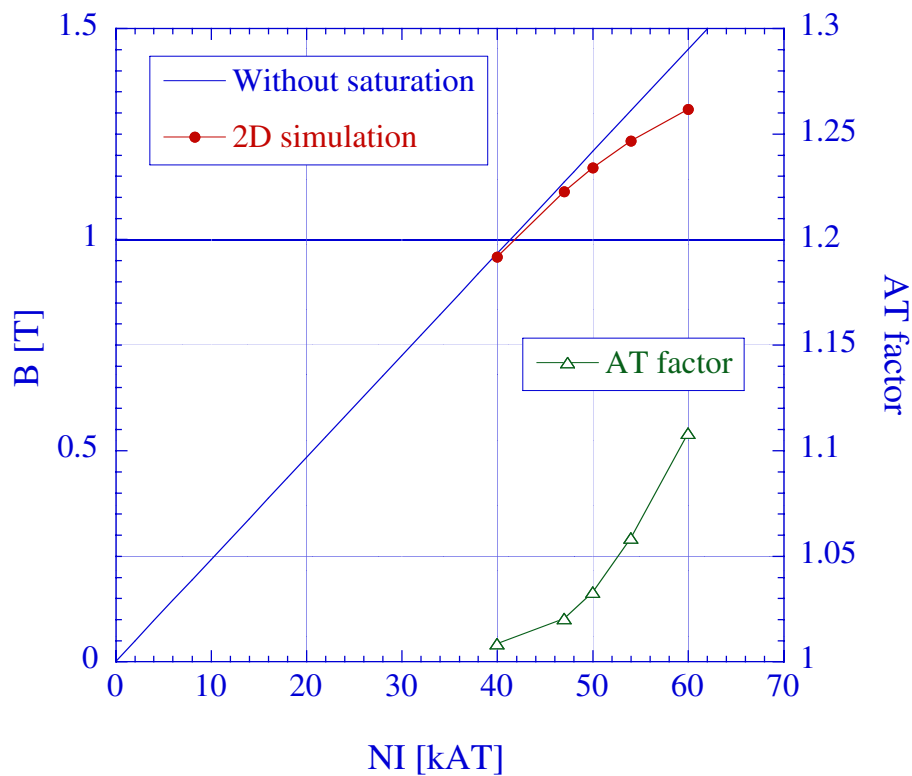
	Number	Effective length [m]	Bending angle [deg]	B [T]	B at 2GeV [T]
B	28	1.2	12.85714	1.124	1.248



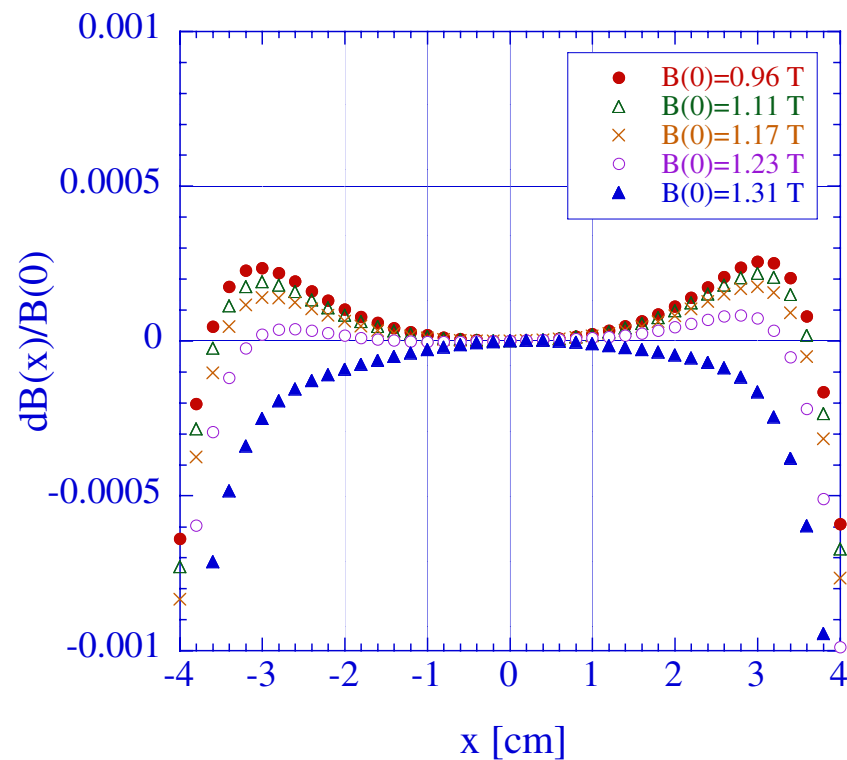
Shape of the pole edge

- C型、方形
- 磁極間隔=52 mm (シム間 50.6 mm)
- 珪素鋼板積層

偏向電磁石の磁場計算



励磁曲線とATファクター



水平方向磁場分布

偏向電磁石の主なパラメータ

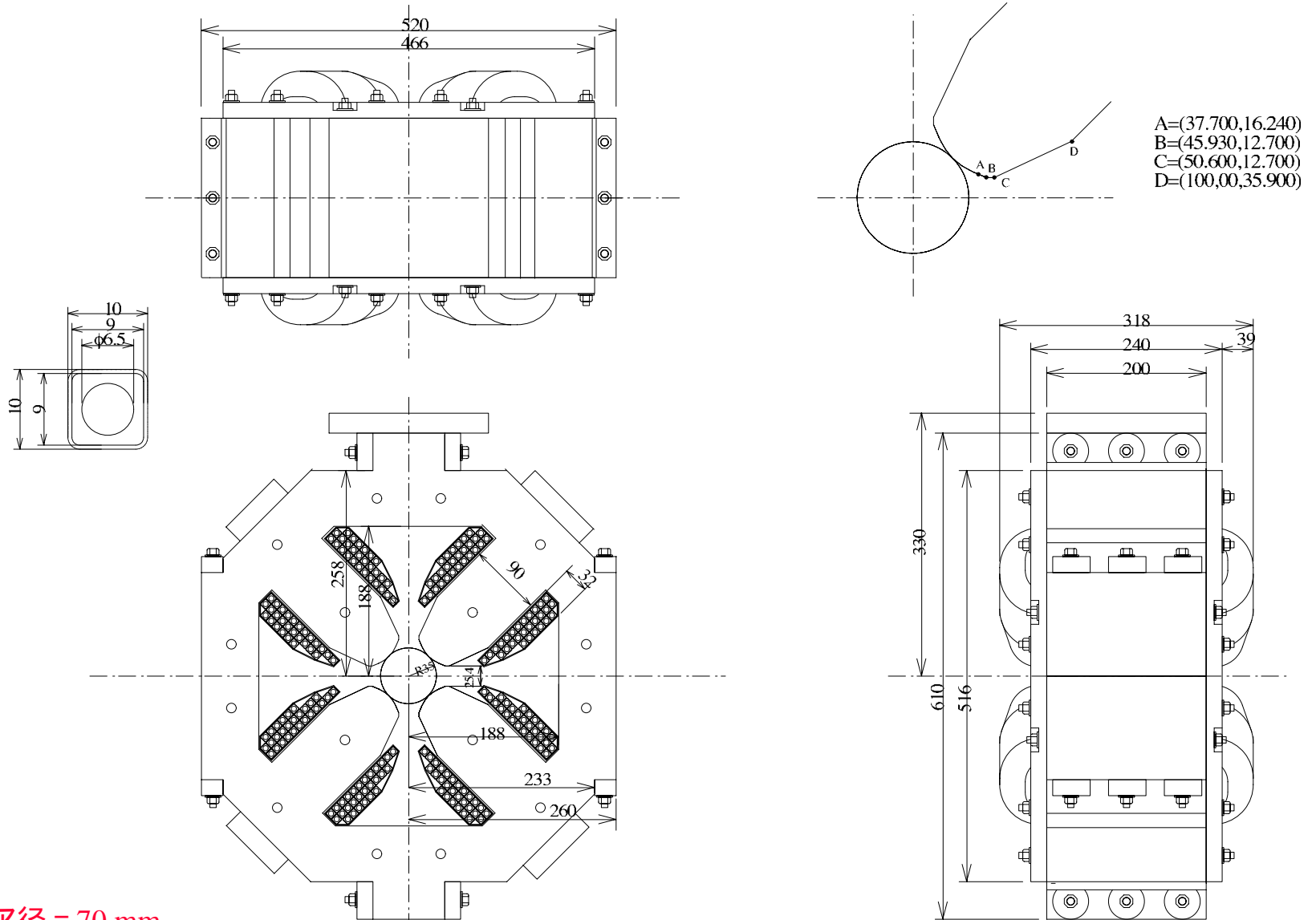
台数	28
磁極長 [m]	1.200
磁場強度 [T]	1.12 (18 GeV)、 1.24 (20 GeV)
偏向角 [度]	12.8571
磁極間隔 [mm]	52
シム間隔 [mm]	50.6
コイル巻数 [turns/pole]	30
コイル導体 [mm]	16 × 15- 9
最大電流 [A]	1000
最大電流密度 [A/mm ²]	5.7
抵抗 [m Ω /mag]	20
電圧 [V/mag]	20
発熱量 [kW/magnet]	20
冷却水流量 [l/min]	28.3
冷却水路 (水路/mag)	6
冷却水圧損 [kg/cm ²]	1
冷却水温度上昇	10
重量 [kg]	2750

四極、および六極電磁石の仕様

	Number	Effective length	$K=B'l/Br$	B' [T/m]	B' at 2GeV
QF	28	0.2	0.61046	18.314	20.349
QD	28	0.2	-0.40322	-12.097	-13.441
Q1	24	0.2	-0.43231	-12.969	-14.410
Q2	24	0.3	0.69191	13.838	15.376
Q3	24	0.2	-0.10132	-3.039	-3.377
Q1L	4	0.2	-0.17896	-5.369	-5.965
Q2L	4	0.3	0.76821	15.364	17.071
Q3L	4	0.3	-0.82621	-16.524	-18.360
Q4L	4	0.2	0.50053	15.016	16.684
Q1A	8	0.2	-0.50351	-15.105	-16.784
Q2A	8	0.3	0.99834	19.967	22.185
Q3A	8	0.2	-0.28931	-8.679	-9.644

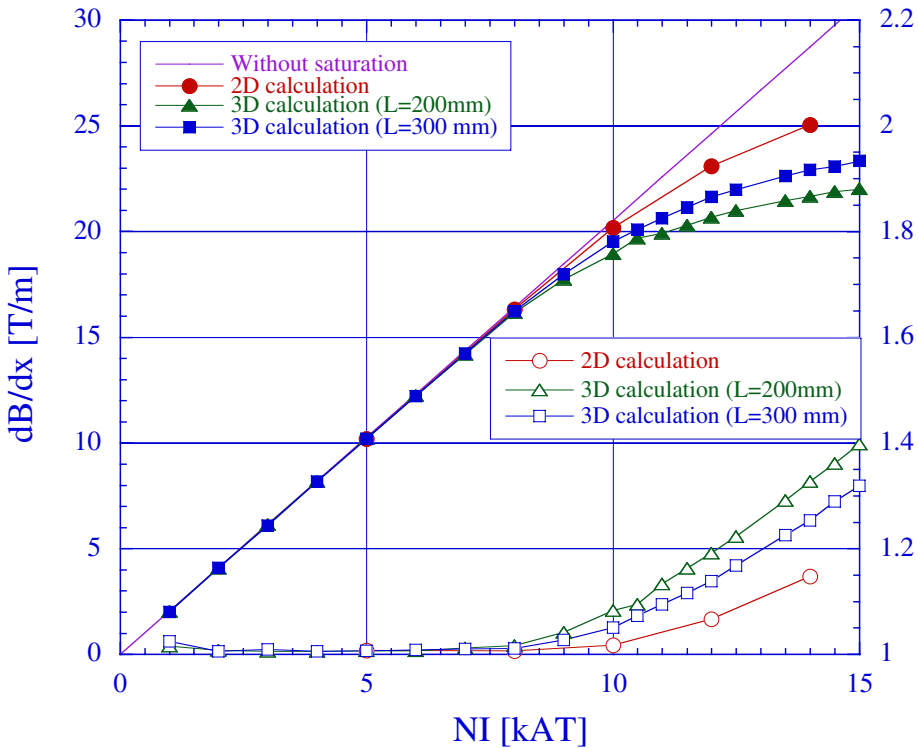
	Number	Effective length	$K=B''l/B$	B'' [T/m]	B'' at 2GeV
SF	28	0.1	3.79712	227.83	253.14
SD	28	0.1	-4.66506	-279.90	-311.00
S1	28	0.15	-3.33017	-133.21	-148.01
S2	28	0.15	3.02319	120.93	134.36

四極電磁石の基本形状

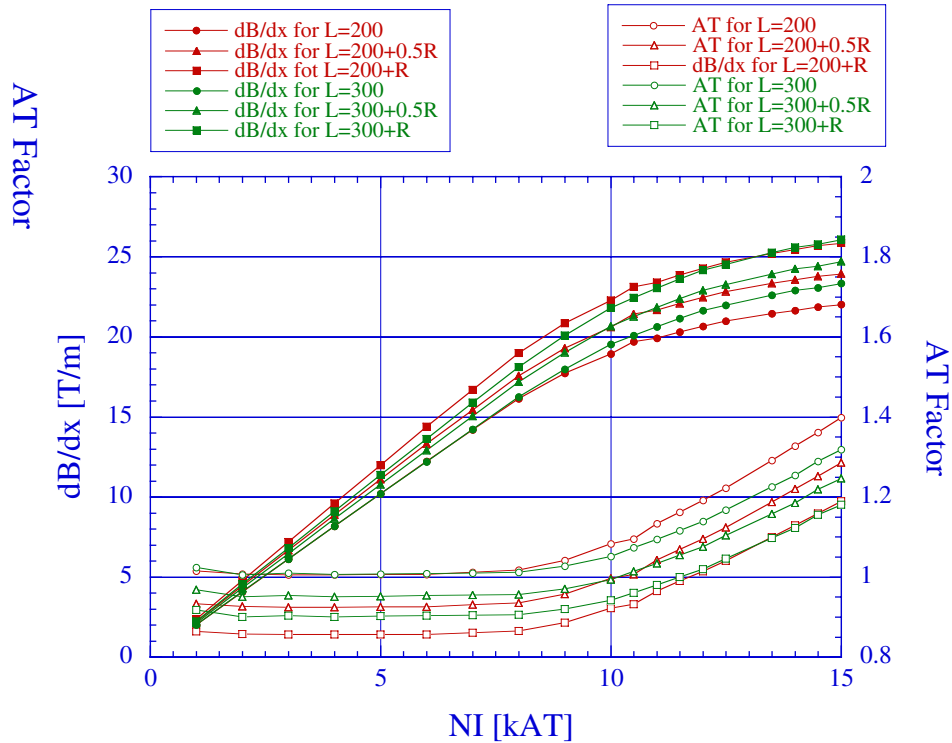


- ボア径 = 70 mm
- 珪素鋼板の積層 (接着コア + 端板)
- 上下2分割可能

四極電磁石の励磁曲線

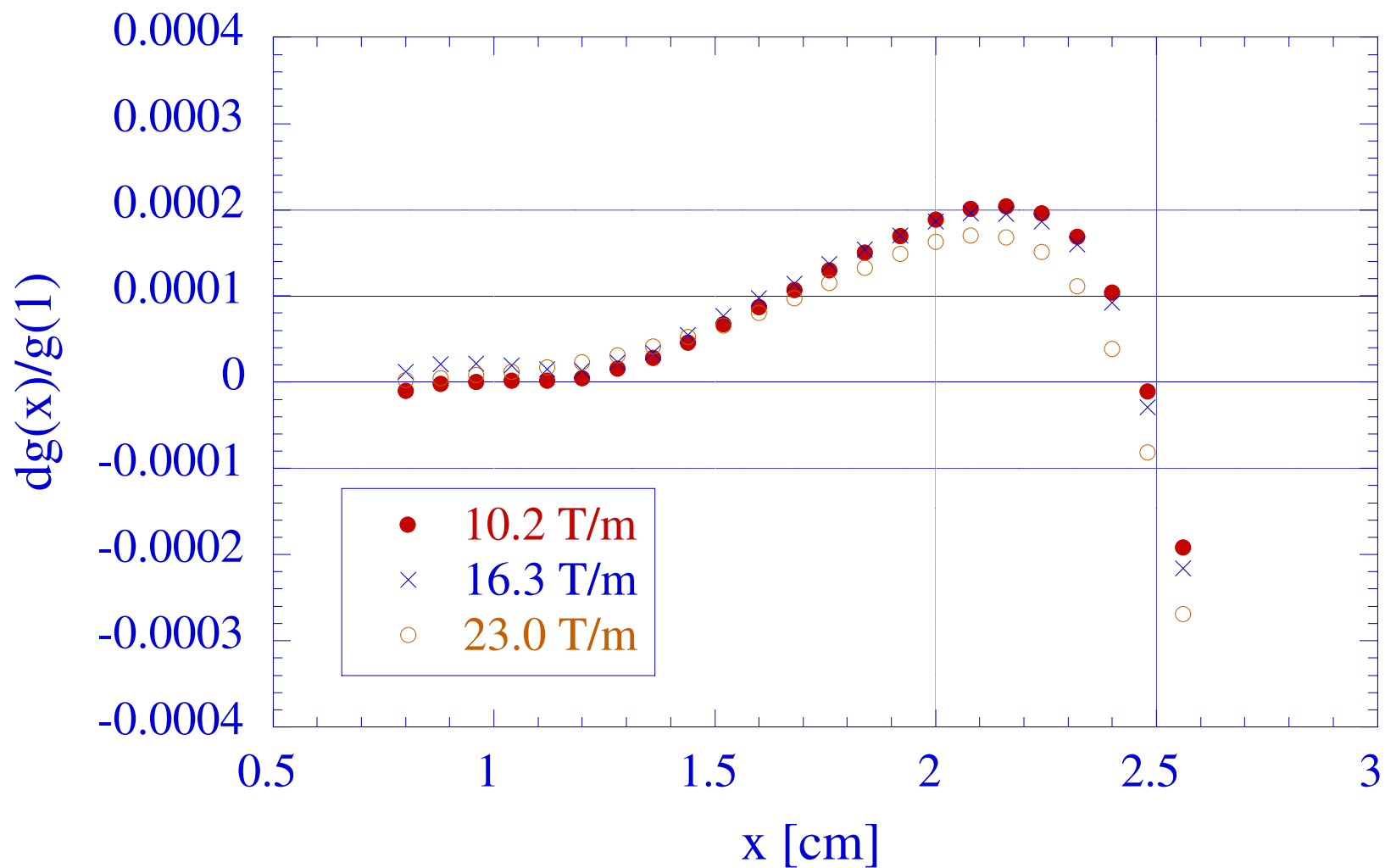


四極電磁石の励磁曲線



3Dの計算結果で有効長を考慮した場合

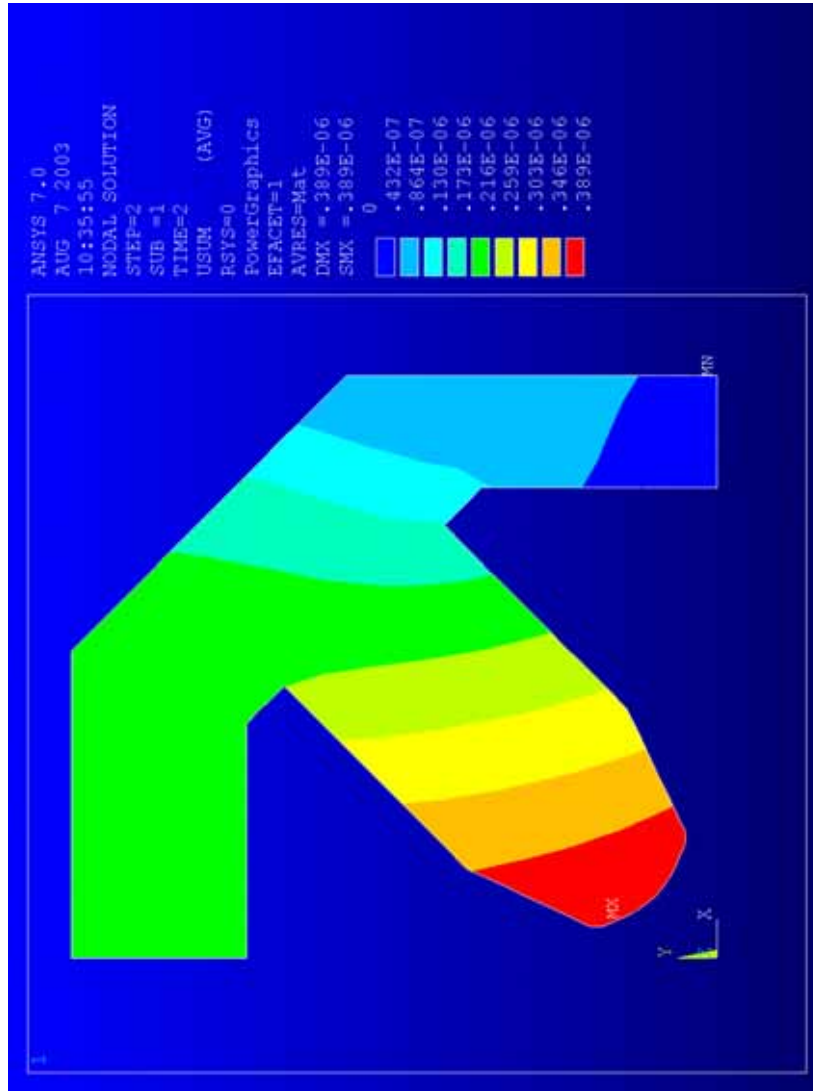
四極電磁石の水平方向磁場分布



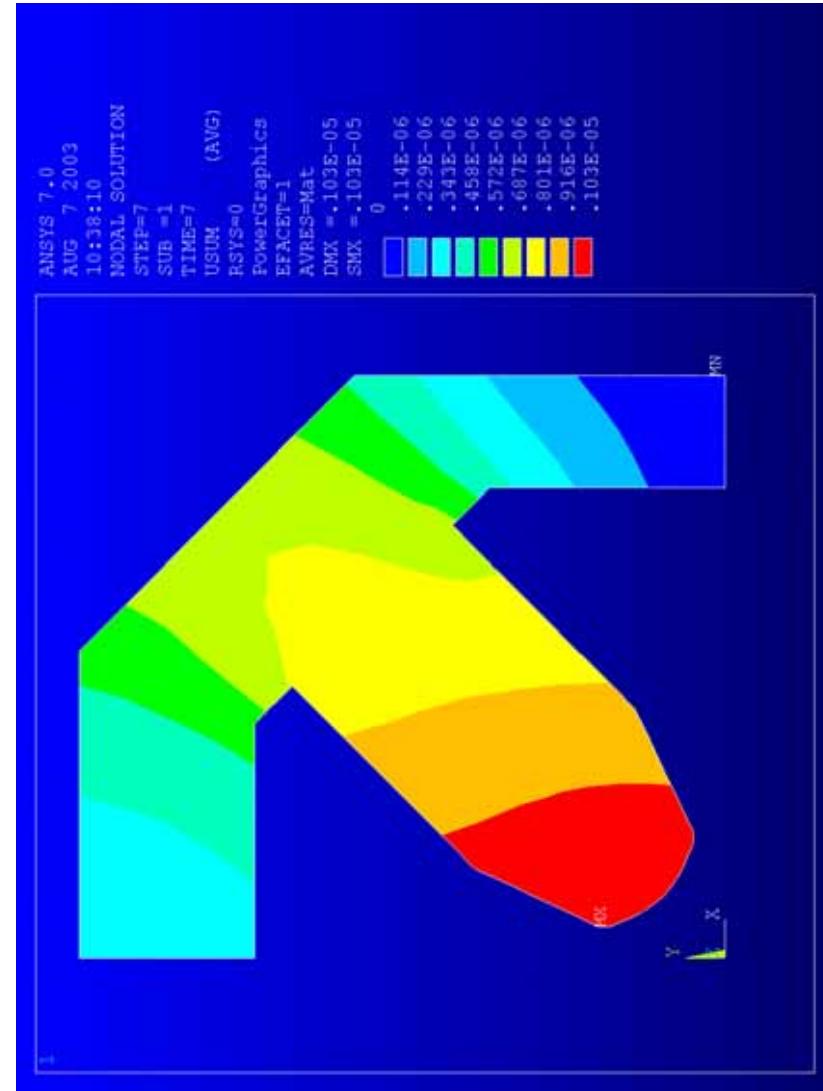
四極電磁石の主なパラメータ

ファミリー	Q F, Q D, Q 1, Q 3, Q 1L, Q 4L	Q 2, Q 2L, Q 3L
磁極長 [m]	0.2	0.3
台数	112	32
最大磁場強度 [T/m]	21	23
ボア径 [mm]	70	70
コイル巻数 [turns/pole]	28	28
コイル導体 [mm]	9 × 9 - 6	9 × 9 - 6
最大電流 [A]	500	500
最大電流密度 [A / m m ²]	10.9	11.0
抵抗 [m ħ / ma g]	35	45
電圧 [V / ma g]	17.5	22.5
発熱量 [kW/ ma gnet]	8.8	11.3
冷却水流量 [l/m in]	12.5	16.1
冷却水路 (水路/ma g)	4	4
冷却水圧損 [kg / cm ²]	2.2	3.7
冷却水温度上昇[]	10	10
重量 [kg]	370	540

四極電磁石の構造計算(変位)

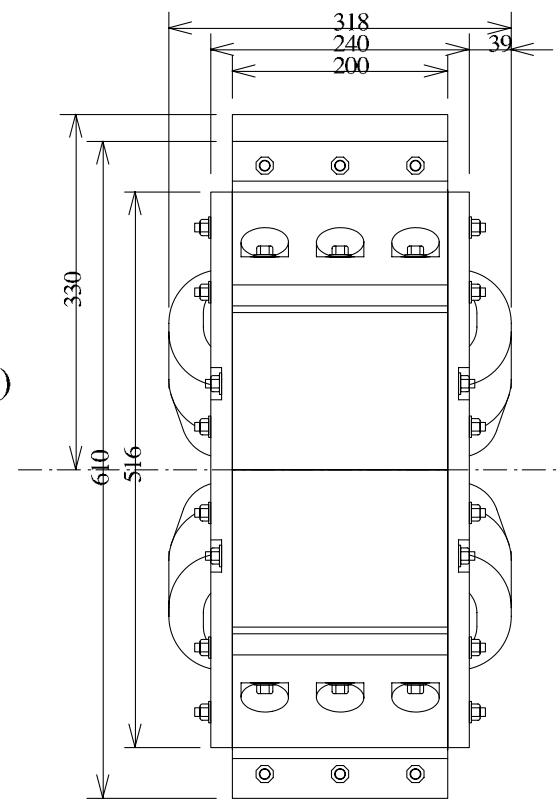
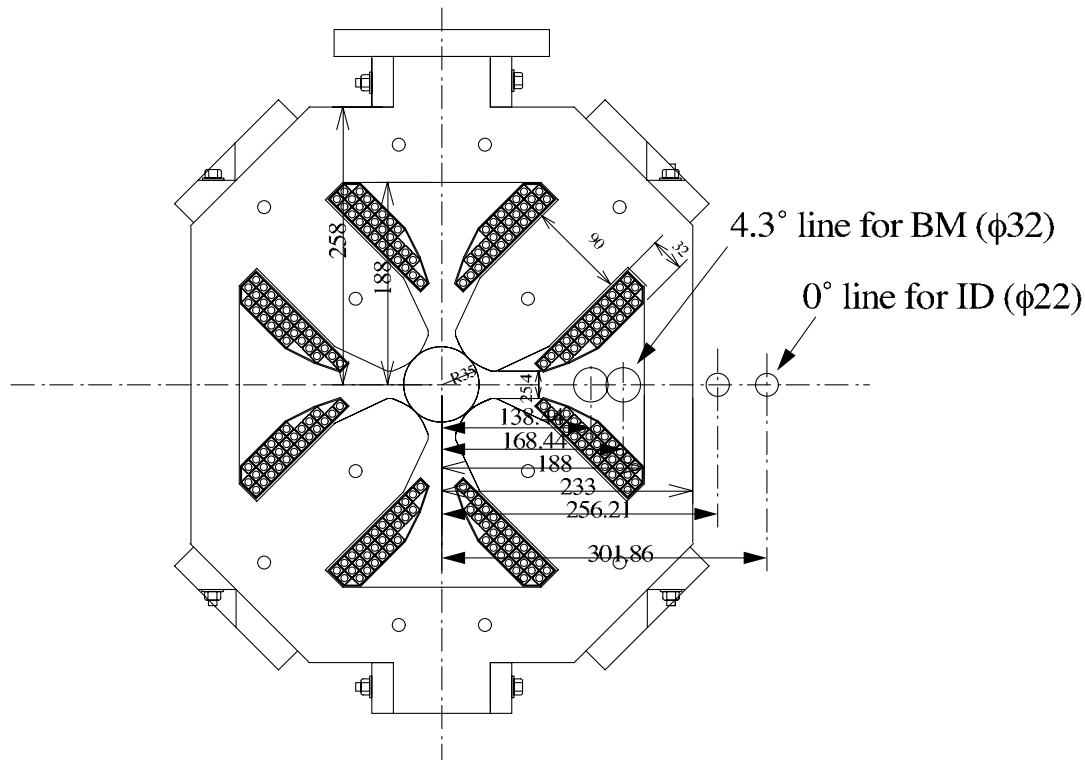
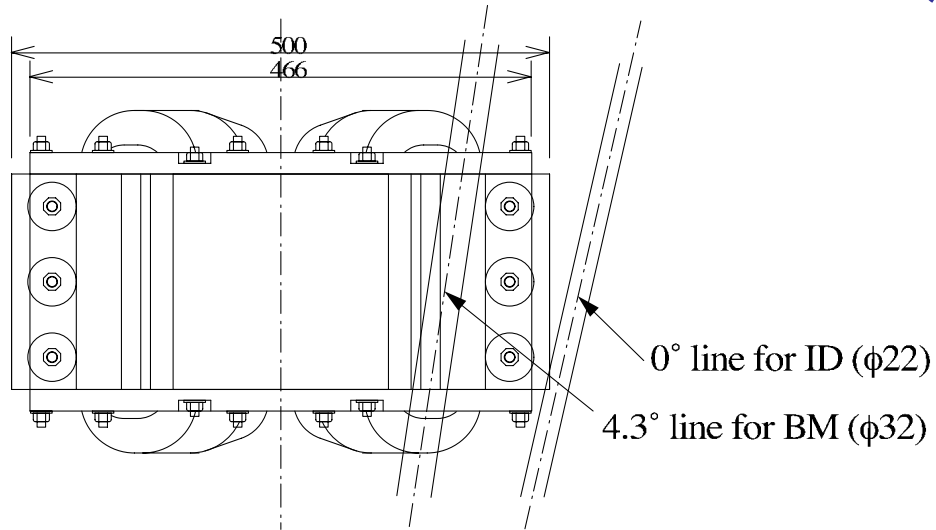


NI=5 kAT: 0.4 m in max.

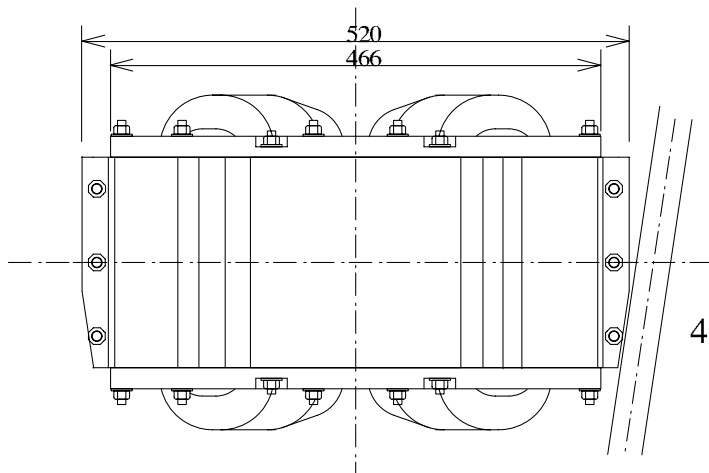


NI=14 kAT : 1 m in max.

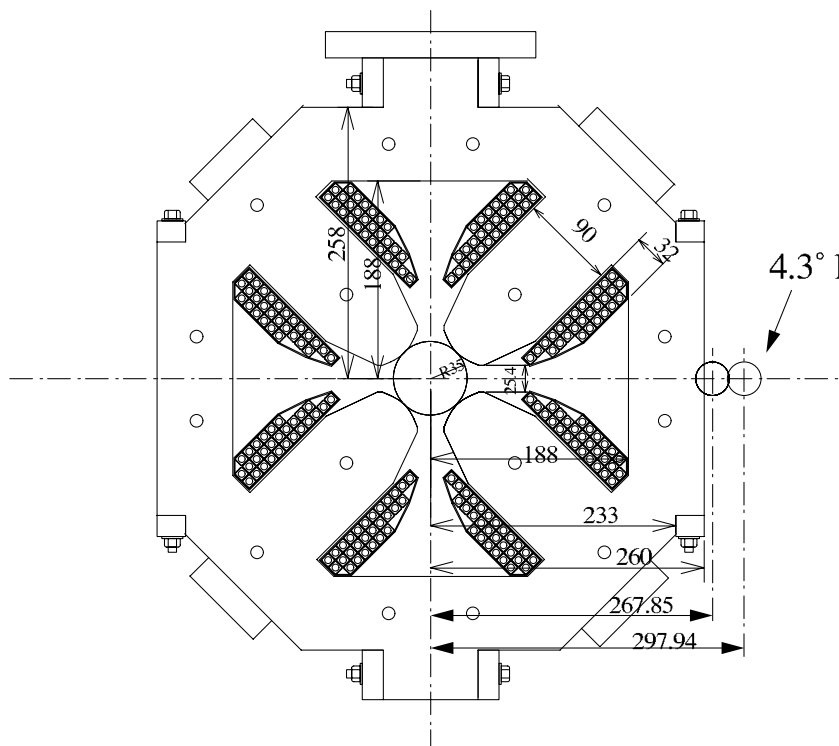
偏向電磁石下流のQD



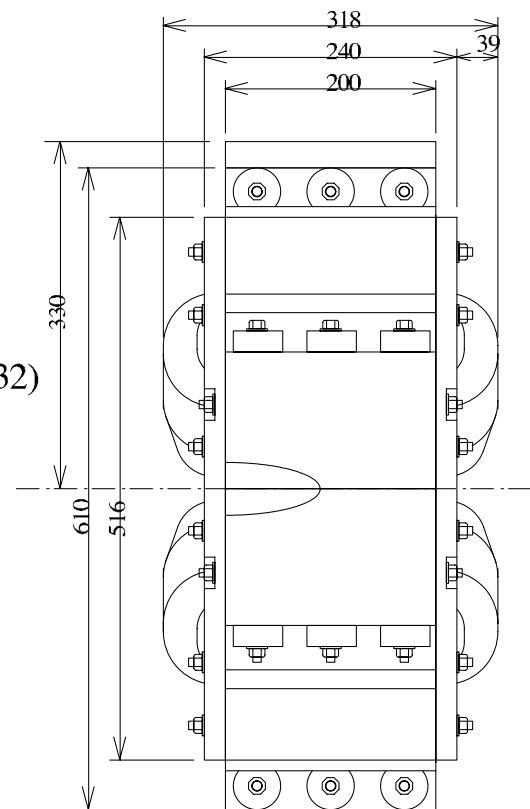
偏向電磁石下流のQF



4.3° line for BM ($\phi 32$)

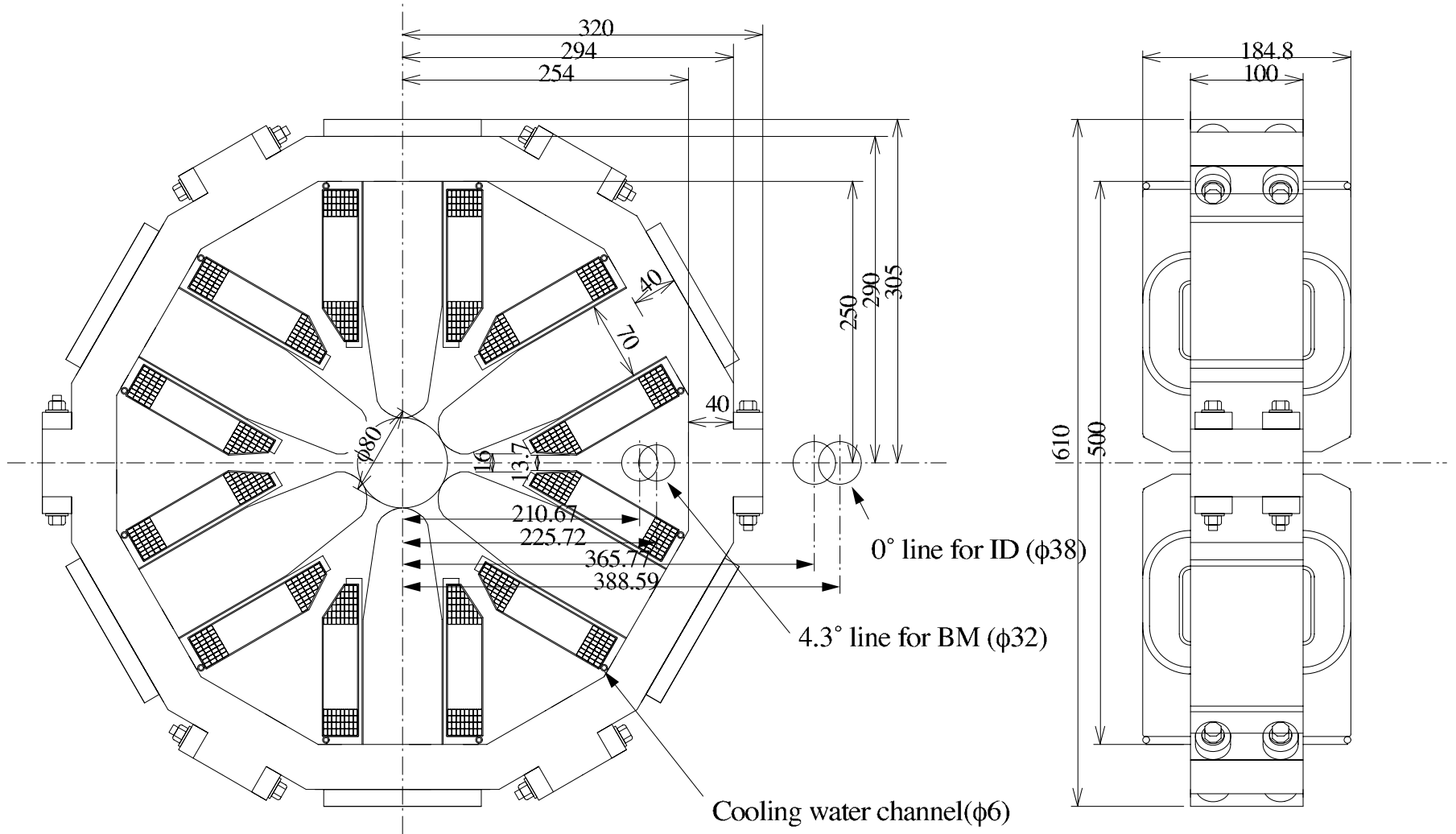


4.3° line for BM ($\phi 32$)



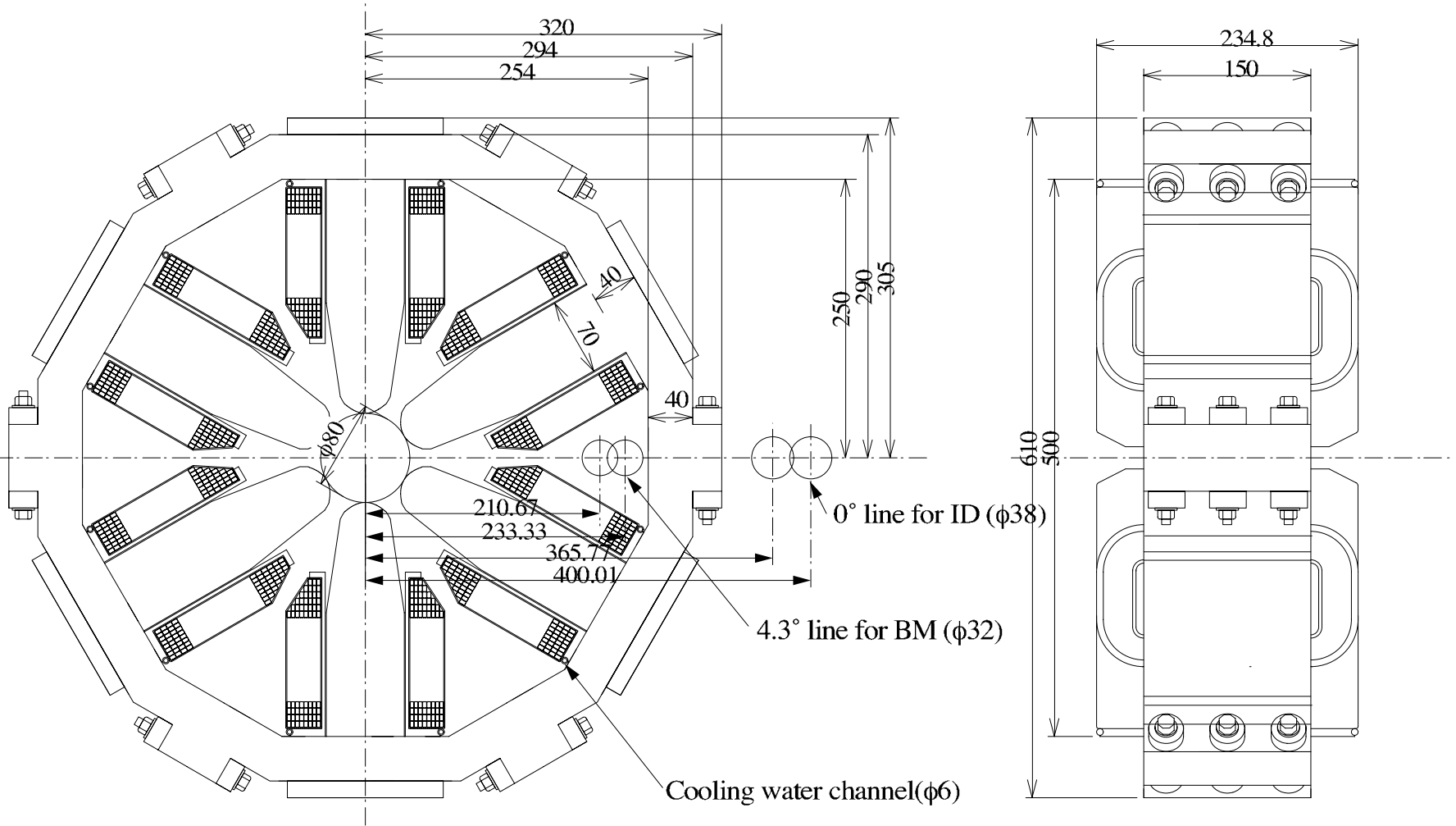
Q2についても同様の追加加工が必要

六極電磁石 S D

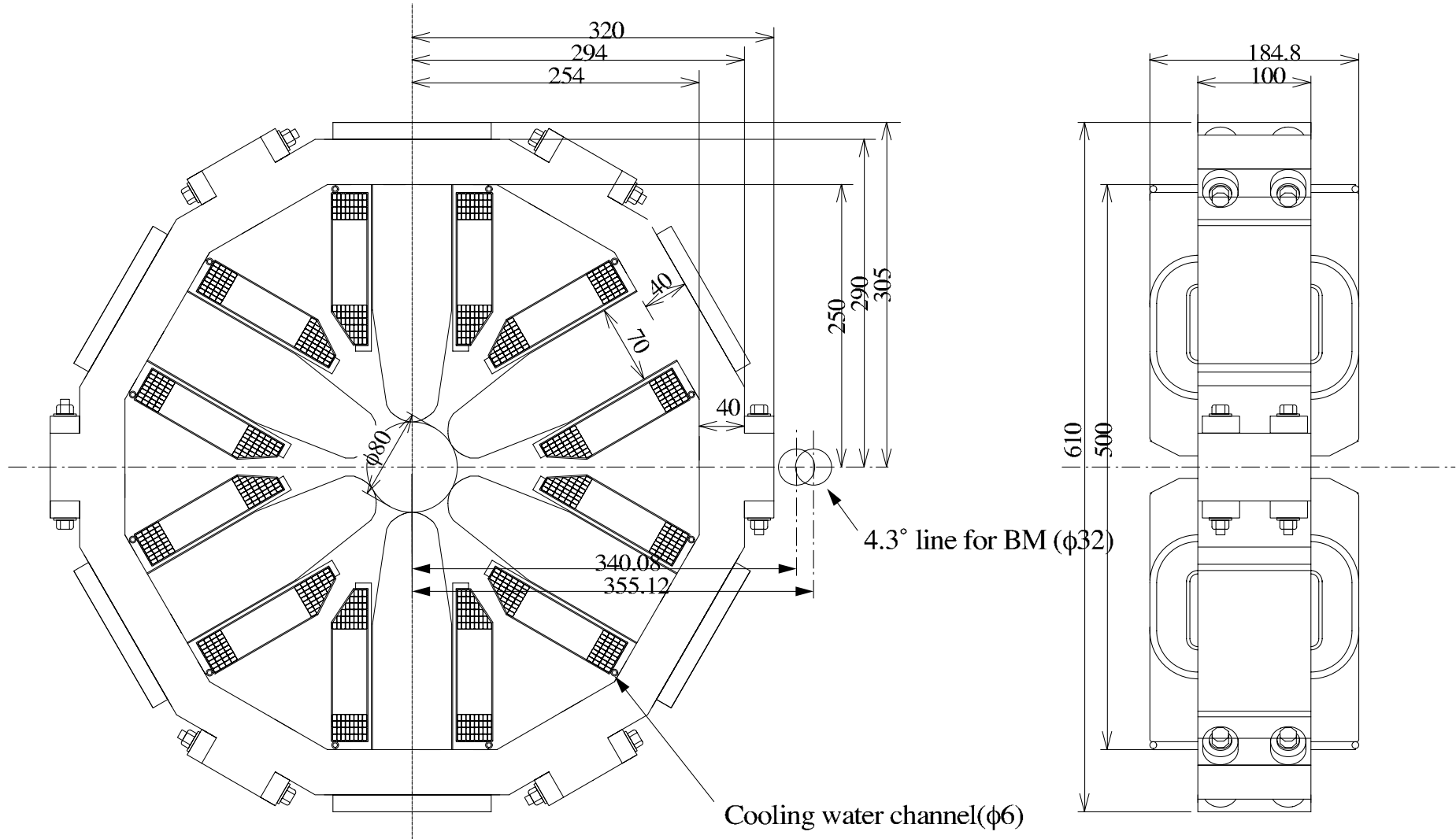


- ボア径 = 80 mm
- 珪素鋼板の積層(接着コア)
- 上下2分割可能

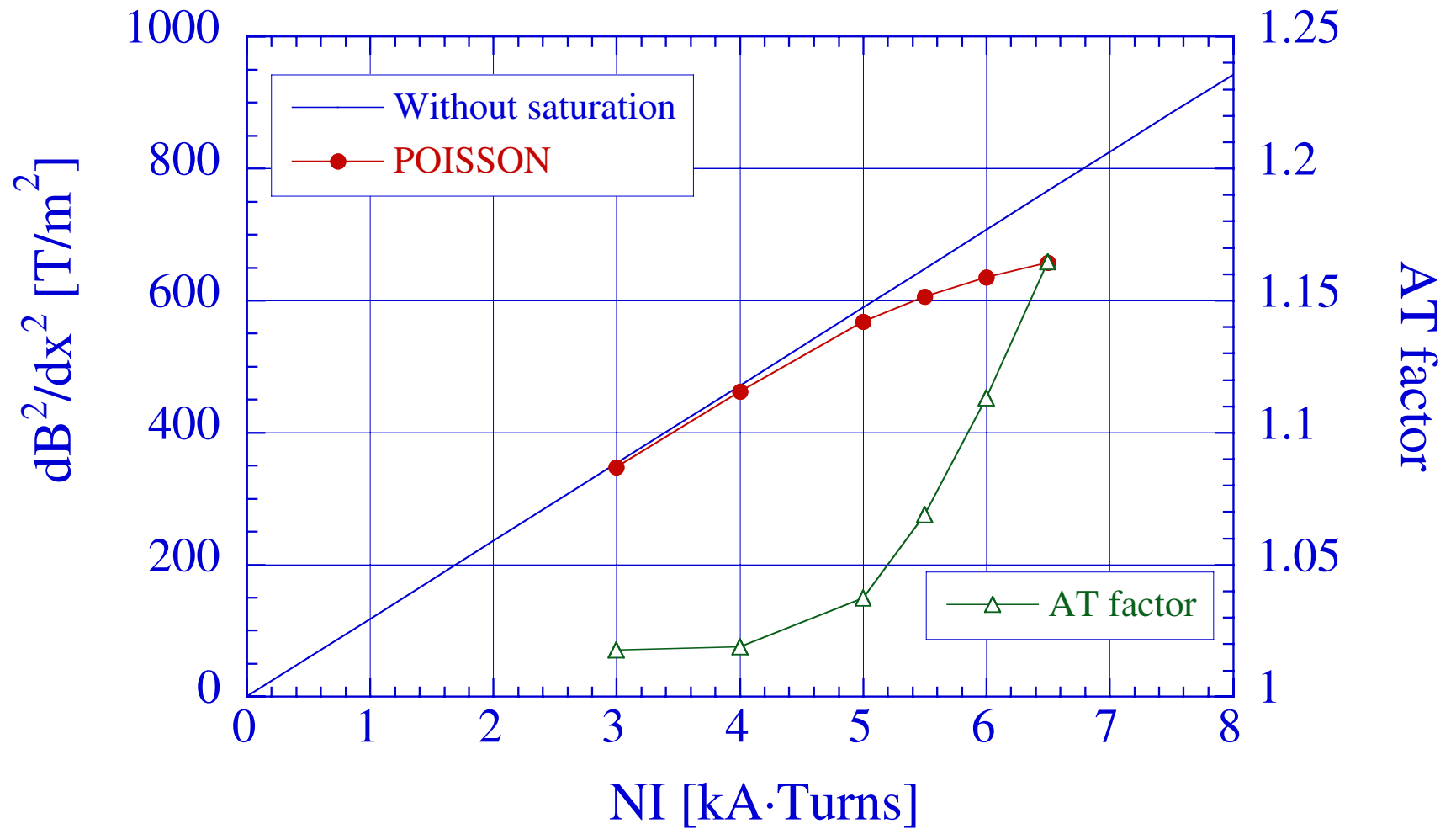
六極電磁石 S 1



六極電磁石 S F



六極電磁石の励磁曲線



六極電磁石の主なパラメータ

ファミリー	SF ,SD	S1 ,S2
台数	56	56
磁極長 [m]	0.1	0.15
磁場強度 [T / m ²]	400	200
ボア径 [m m]	80	80
コイル巻数 [turns/pole]	169	169
コイル導体 [m m]	3.5 × 5.5	3.5 × 5.5
励磁電流 [A]	20.1	10.05
抵抗 [m ž /ma g]	548	663
電圧 [V /ma g]	11	6.7
発熱量 [kW/m agnet]	0.221	0.067
冷却方式	間接水冷	間接水冷
冷却水流量 [l/m in]	3.6	1.2
冷却水路 (水路/ma g)	6	6
平均温度上昇[]	11.7	3

主電磁石電源

偏向電磁石: 直列接続、大型サイリスタ電源

四極・六極電磁石: 個別励磁、スイッチング電源

偏向電磁石電源の仕様

入力電源	3、400 V
周囲温度	10~40
最大出力電圧	600 V
最大出力電流	1000 A
最大出力電力	600 kW
出力電流保証範囲	50 ~ 100 %
極性	単極性
電流リップル	10 ppm p-p 以下
安定度	10 ppm p-p / 8 hrs 以下
整流方式	サイリスタ 24 相整流
電流制御	サイリスタ 2 4 相整流 + アクティブフィルタ
力率 (目標値)	85 % 以上
効率 (目標値)	~0.95 以上
冷却	水冷

四極電磁石電源の仕様

入力電源	3、400 V
周囲温度	10~40
最大定格 (タイプ 1)	500A / 30V
最大定格 (タイプ 2)	250A / 20V
出力電流設定範囲	1 ~ 100 %
極性	単極性
電流リップル	10 ppm rms 以下
安定度	10 ppm p-p / 8 hrs 以下
整流方式	6 相ダイオード整流方式
電流制御	IGBT PWM スwitching方式
力率	~95 %
効率	~0.9
冷却	風冷

高速軌道フィードバック用補正二極電磁石システム

高速軌道フィードバック:

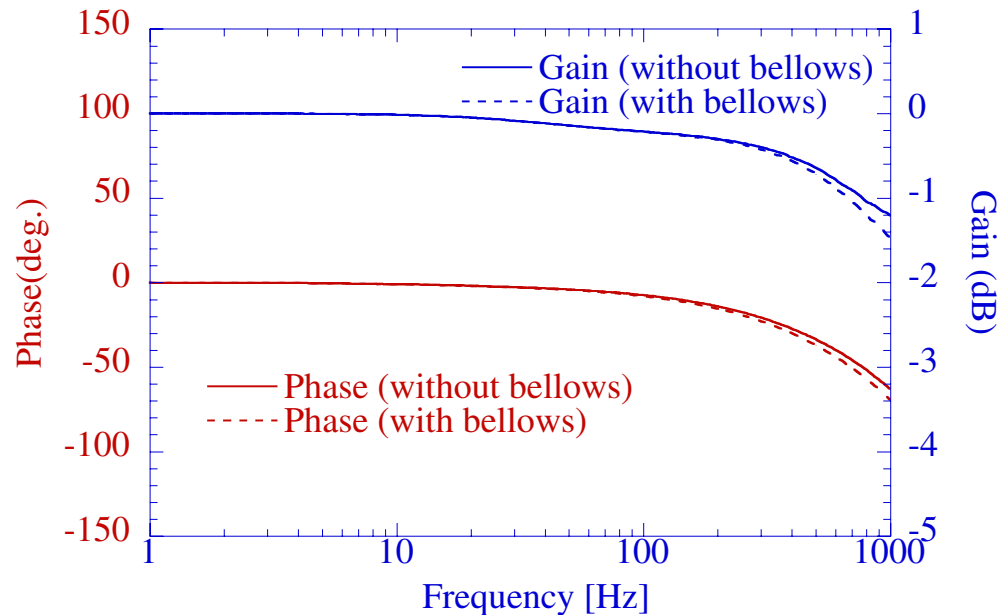
100Hz の軌道変動を抑えるため、補正電磁石には1kHz程度の高速応答が要求される。

- ・コアは珪素鋼板の積層(接着コア)
- ・ベローズダクト部に設置

Super SOR (1.0~1.6 GeV)用補正磁石のR&D



ステアリングモデルとベローズダクト。
ベローズダクトはステンレス製、内部にCu-Beに
Agメッキした rf コンタクトを持つ。



水平方向補正磁場のホール素子による測定。
I=1 Ap-pの励磁(小型スイッチング電源)で、
ビーム中心位置で6Gの磁場。