





延長し、上下の延長棒の間に非磁性 SS 製の支持部材を配置して片持ち梁として支える。また、磁石全体の配置を反映して 82mm 鉄芯空隙とし、コイルの断面を 50.7mm 高 x61.5mm 水平幅の扁平断面とした。

延長棒は図 7 のように磁力線を戻す効果もあるために、ビーム軸上の負磁場はやや弱くなる。このために表 3 のように BL 積は 0.32Tm に増加した。しかし、ビーム変位は 17mm であり、許容できる。

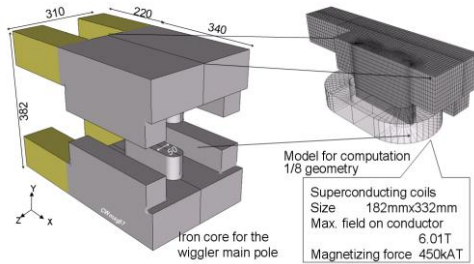


図 7 最終的に決定した Wiggler の鉄芯形状

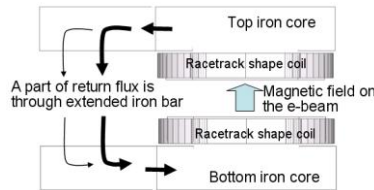


図 8 支持構造用に延長した鉄棒経由の磁力線

### 3.5 励磁時の発熱

以上の検討で、静磁場としては実現できる見通しがあったが、励磁時間を検討しておく必要がある。SAGA-LS では 20 分以内の励磁を考えている。設計した磁場を発生するには、鉄芯を積層することは出来ない。このような鉄芯には渦電流による発熱が心配される。そこで、発熱量を計算した。

図 9 は、左に 1200 秒(20 分)励磁中の中心磁場強度をコイルと鉄の寄与に分けて示し、右に鉄芯発熱量を示す。励磁初期(<60 秒)に大きな発熱があるが、その後の発熱は少ない。励磁初期には下側図のように表皮効果で渦電流が表面付近に集中し電流密度が大きい。一方、60 秒から後ではポール全体に電流が流れ、電流密度が下がり、発熱も減少する。

発熱量のまとめを 20 分での励磁・消磁について表 2 に示した。伝導冷却用の銅板の渦電流発熱は小さくなるようにスリットを入れている。平均発熱量は励磁で 0.23W、消磁で 0.11W であり、冷凍機容量 1.5W に比べて小さく、20 分での励消磁は可能であると言える。励磁初期の 0.94W および消磁末期の 1.28W の発熱はやや大きいため、鉄芯とコイルは緩やかな断熱構造を採るようにした。

表 2(a) 励磁時の極低温部発熱

部位	最大(W)	平均(W)	発熱量(J)
鉄芯	0.94	0.23	275
ステンレス柱	1.64E-4	6.85E-5	0.082
Cu 冷却板	5.23E-3	3.89E-3	4.7

表 2(b) 消磁時の極低温部発熱

部位	最大(W)	平均(W)	発熱量(J)
鉄芯	1.28	0.113	135
ステンレス柱	1.68E-4	6.37E-5	0.076
Cu 冷却板	5.41E-3	4.13E-3	4.96

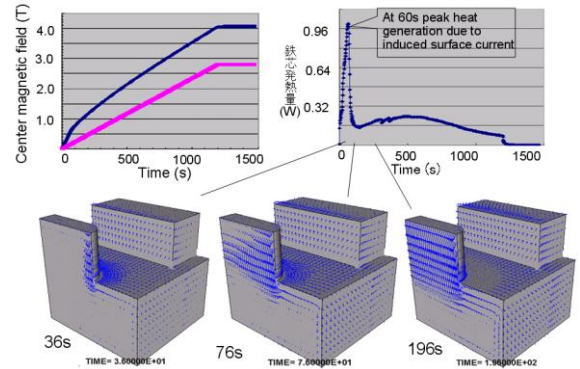


図 9 励磁時の過渡磁場解析と渦電流発熱量  
上左：中心の磁場強度、下側の線はコイルのみで発生する磁場強度、上右；鉄芯発熱(W)の時間変化、下側図は 1/8 体系で渦電流分布を密度ベクトルで示す。

### 4. まとめ

本 Wiggler は 2010 年 3 月末に完成、冷却・励磁され、設計通りの磁場分布を持つことが確認された(図 10)。2010 年度より SAGA-LS 蓄積リングに挿入されて、20keV 超の X 線発生を確認し、運用に向けた調整を行っている。

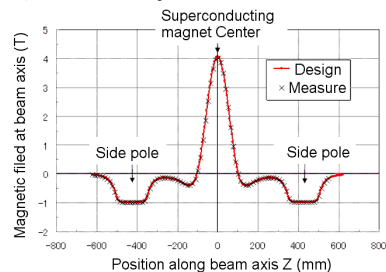


図 10 ビーム軸に沿った磁場分布の比較

### 参考文献

- [1] S. Koda, et al., "Feasibility Study on Introducing a Superconducting Wiggler to Saga Light Source", Proceedings of PAC05, Knoxville, TN, USA, pp.1021, 2005
- [2] S.Koda, et al., "Progress and Status of Synchrotron Radiation Facility SAGA Light Source", IPAC10, Kyoto, Japan 2010 in press.
- [3] C.S. Hwang, et al., "Design and Construction Performance of a Compact Cryogen-Free Superconducting Wavelength Shifter", IEEE Trans. on Applied Supercond., **12**, 686, 2002
- [4] D. Robin, et al., "Superbend upgrade on the Advanced Light Source", NIM A, 538, 65, 2005
- [5] T. Semba, et al., "Design and Manufacture of Superconducting Magnet for the wiggler in SAGA-LS", IPAC10, Kyoto, Japan 2010 in press.
- [6] M. Abe, et al., Transient Electromagnetic Analysis and Thermal Design on the Magnet of 3-GeV Synchrotron, EPAC08 WEPC138, Genoa, Jun, 2008.
- [7] EMSolution, <http://www.ssil.com/em/EMSolution/>