

SPring-8 SCW / 2nd Phase

SCW 研究会； SPring-8 中央管理棟 1 階講堂

2003 年 3 月 24 日 米原

Aim ; In August, 2002 a 10T SuperConducting Wiggler (SCW) was installed in the storage ring and a beam test was performed in September and November to generate high-energy synchrotron radiation up to about MeV region. The workshop aims at discussions of possible applications of high-energy (from a few hundred keV to a few MeV) synchrotron radiation generated by SCW with emphasis on (i) production of positron beams and their applications and (ii) direct applications of high-energy synchrotron radiation.

研究会主旨； SPring-8 で、2002 年 8 月、8GeV 電子蓄積リングに 10T 超伝導ウィグラー（以下、“SCW”）を設置し、高エネルギー放射光（数 100keV - 数 MeV）を発生させる**ビーム試験**を行った。試験は 9 月と 11 月に 2 回行ない、SCW の性能テスト、放射光スペクトルの直接測定、SCW 周囲の放射線量の測定などを実施し、本格設置に向けた検討を行う上での問題点の洗い出しと基礎データの取得を行った。SCW 一連のビームテストはこれで一旦終了となり、昨年 12 月の冬期停止期間中に、マシン収納部からテストベンチへ移設した。

そこでこの時期に、今後の計画を検討する上で、高エネルギー放射光（数 100keV - 数 MeV）の利用について議論をしておくことが大切であろう、と考えている。議論の内容としては、

SCW を使って発生させた高エネルギー放射光がどのような分野で応用できるのか。

- 陽電子の生成とその応用
- 高エネルギー放射光の直接利用

ということに主眼を置きたい。

SCW 経緯

1. 超伝導ウィグラ／ISTC 主導、ロシア製作 (3-pole, Max; 10T、再凝縮器 2 台 (+ヒートシールド専用 1 台))
2. 2000 年 1 月 SPring-8 に搬入；組み上げ後、冷却・磁場測定 (2 月末まで)
3. 2001 年 10 月 31 日 ISTC-SCW を SPring-8 蓄積リングに設置する方針
 設置場所 セル 5、専用ハッチなどは建設しない／収納部内で出来ることをする
4. 2001 年 11～12 月 SCW プロジェクトチーム
 川島氏らによる SCW 改造 (大阪市大・畑氏アドバイス有) ①電流リード棒の改造
 ②ヘリウムガス排出ルート改造
5. 2002 年夏期停止期間に SPring-8 蓄積リング・セル 5 設置
6. 2002 年 9 月 3 日 0700 時～9 月 6 日 0900 時 (復帰作業 9/5 1100 時～) ビーム実験 (約 2 日間)
7. 2002 年 10 月 3 日 SCW 第二フェーズ検討開始 “ユーザ利用を目指す”
8. 2002 年 11 月 21 日 0500 時～21:00 時 (復帰作業 1730 時～) ビーム実験 (約 12 時間)
9. 2002 年冬期停止期間中に撤去 ⇒ 現在、組立調整実験棟 SCW 実験室に設置

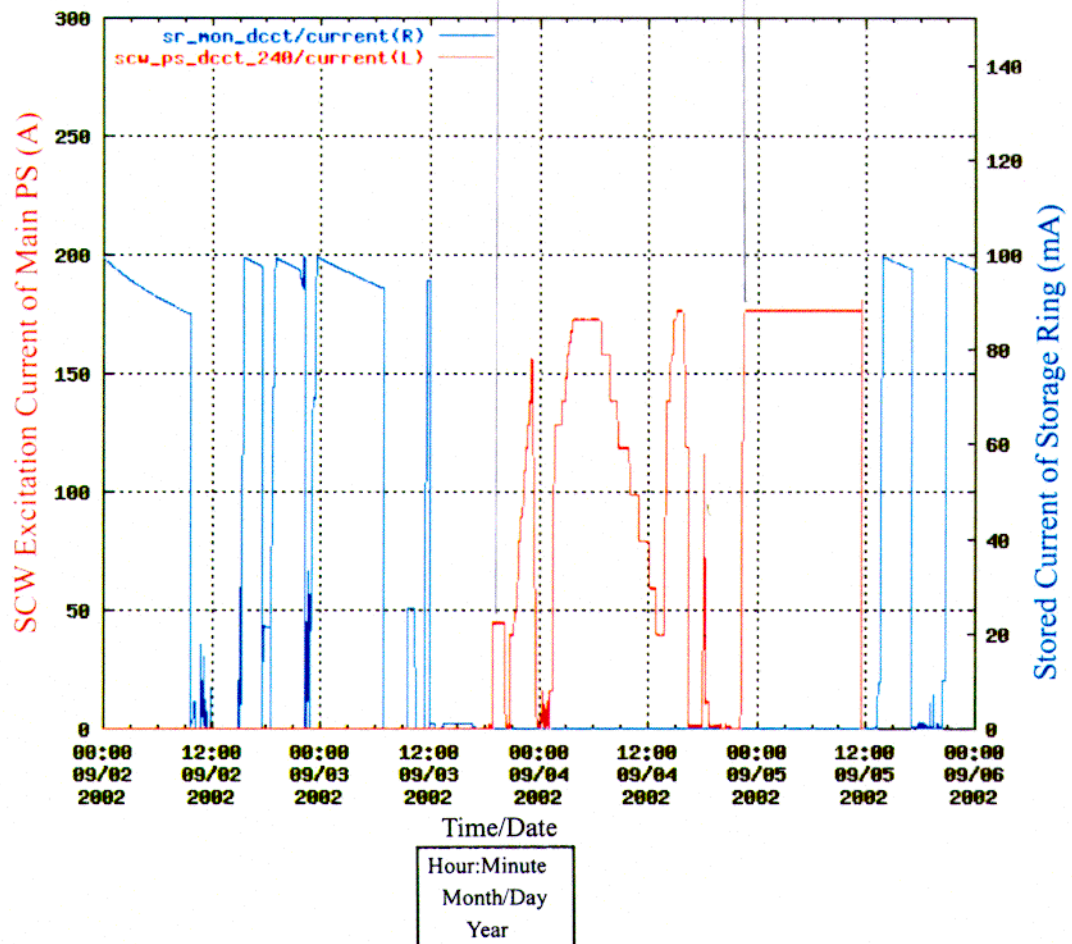
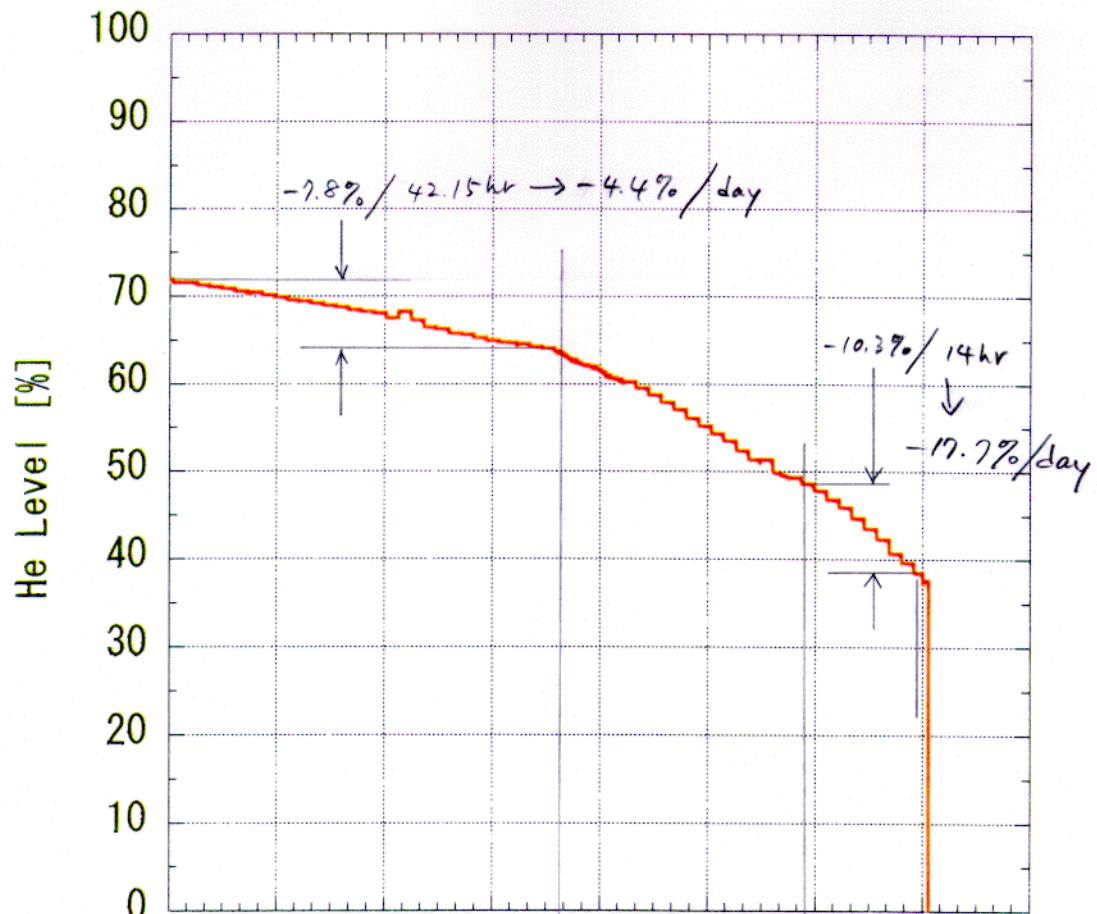
SCW 1st Phase (Responsible Person List)

SCW 歴史以前； 原、熊谷、上坪

SCW 1st Phase Member

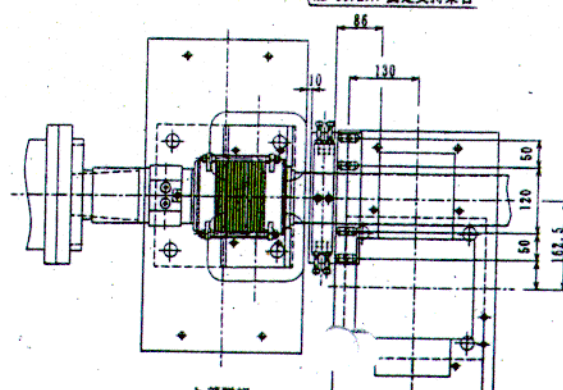
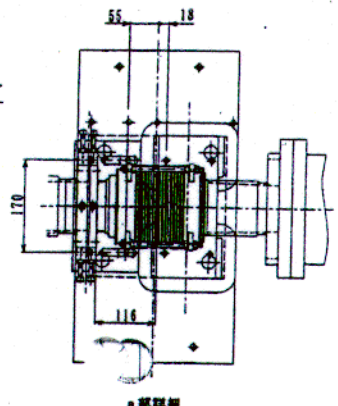
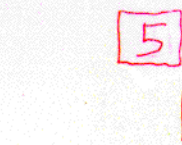
総括	米原、早乙女
ビーム解析	早乙女、伊達、田中 _均
SCW 本体	川島、大橋、【 畑 徹／大阪市立大 】
真空槽・熱解析	佐伯、大石、馬込、依田、中村、谷内 _友 、野田
放射線遮蔽・計測	小路、浅野、高城 (申請も)、妻木、SES
電磁石関係	松井、妻木、張、武部
SCW 制御、ネットワーク	細田、増田、山下、福井、古寺、田中 _良
陽電子/SCW 放射光測定	川島、大橋、恵郷
BPM、DCCT 関係	佐々木、大島、小路、高嶋、高野、正木
ビーム実験	高雄、伊達、田村、N.Mezentsev, A.Batrakov、(大熊)
陽電子生成コード	清水
作業・運転協力	運転員グループ
施設改造など	施設管理部門
(酸素濃度計・ガス排出口・電力仮設)	
機械工作協力	周辺技術 Gr
高圧ガス安全関係	藤原

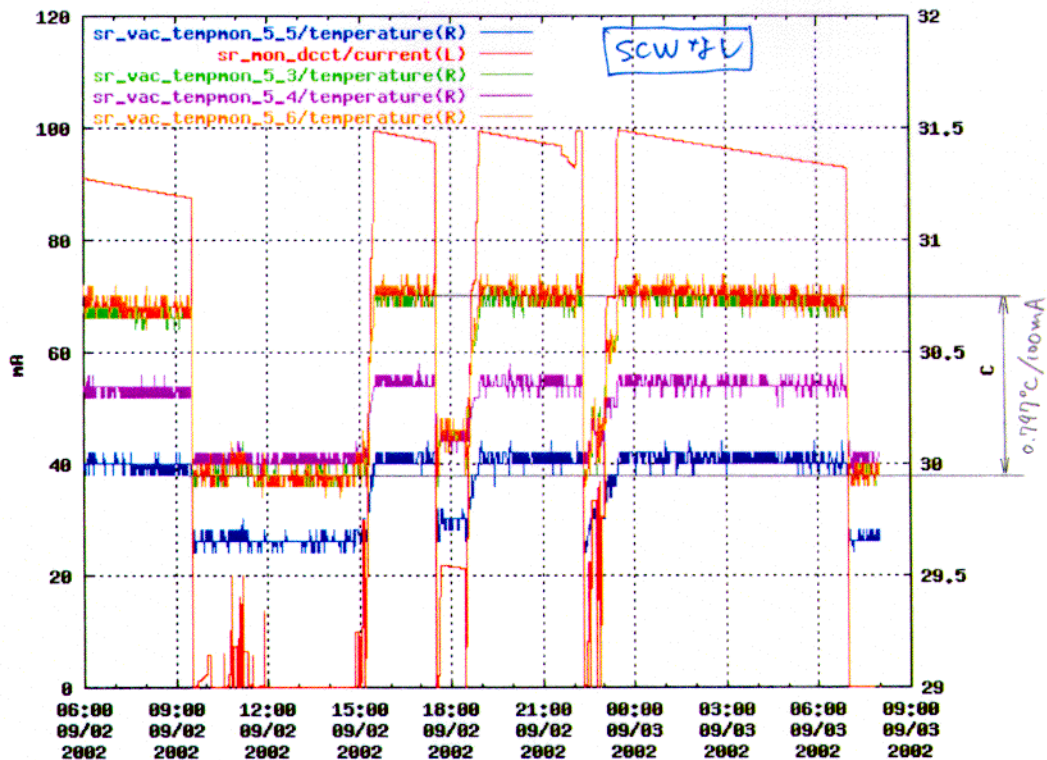
Liq. He Level



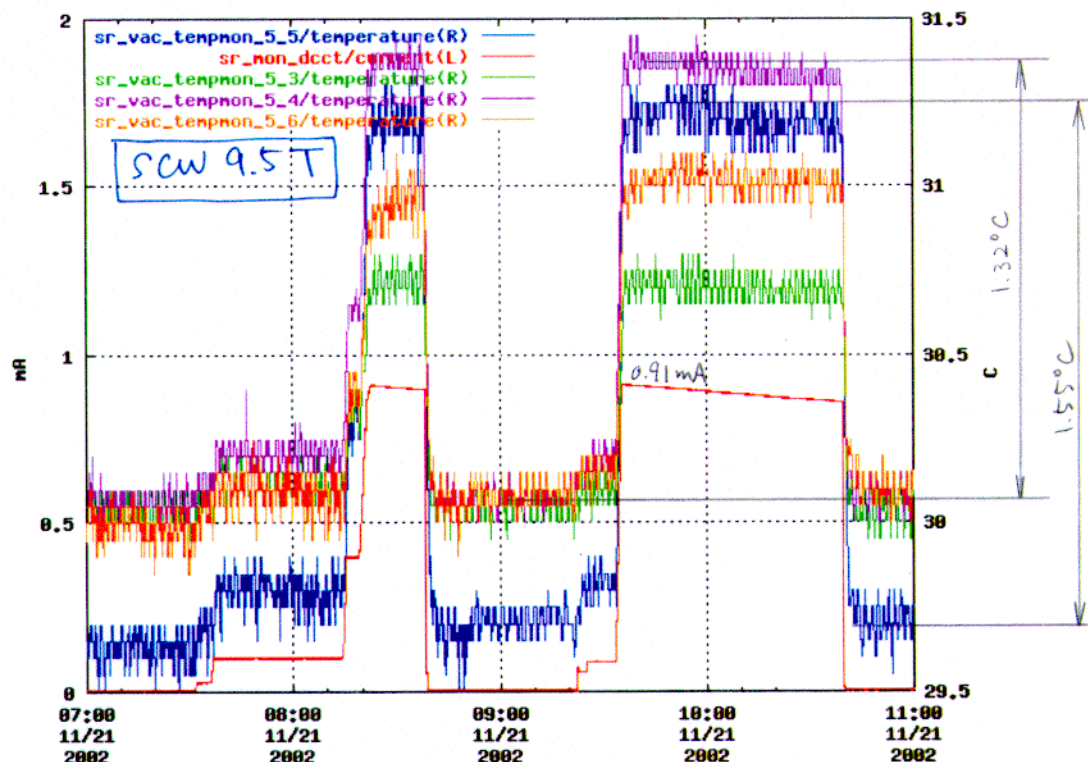


7 ... 大島中に放逐

[illegible]



SCW 以外の放射光による温度上昇は、3 6 において最大、0.8°C/100mA。1mA 換算；0.008°C温度上昇。



蓄積電流値 0.91mA における各部の温度上昇値を 1mA 蓄積電流時の温度上昇に換算すると、

3 0.65°C/0.91mA ⇒ 0.71°C/1mA	4 1.32°C/0.91mA ⇒ 1.45°C/1mA
5 1.55°C/0.91mA ⇒ 1.70°C/1mA	6 0.92°C/0.91mA ⇒ 1.01°C/1mA

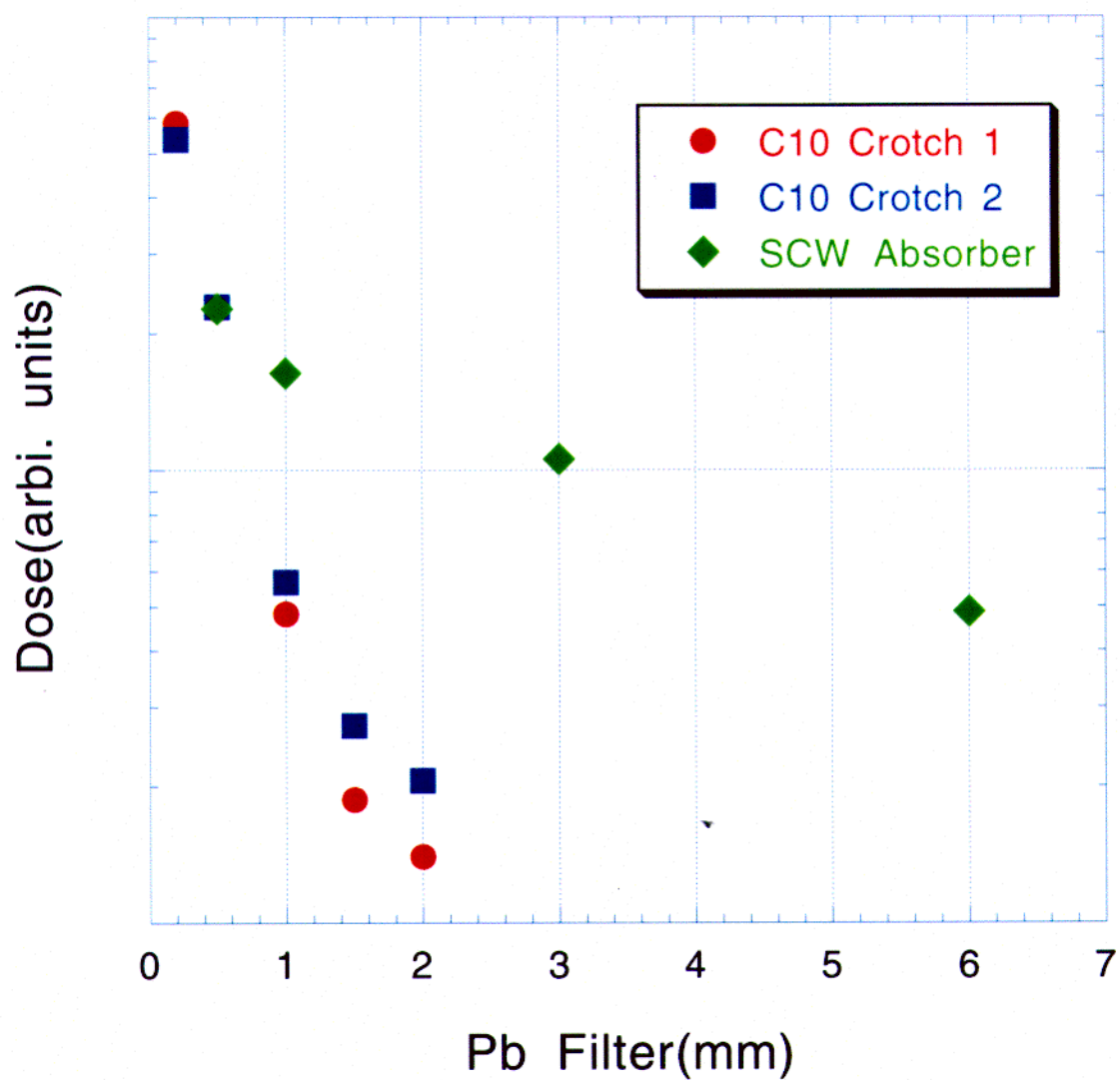
この値は、SCW を励磁しないと比べ、SCW 放射光による温度上昇と思われる。

熱解析コードによる評価 [冷却水>3m/s⇒1mA 時の温度上昇 20°C] ⇒ 温度測定点では、約 10°C温度上昇と比較すると、一桁小さい温度上昇となっている。

《この不一致は、SCW 放射光のパワーの主成分はアブソーバを抜けていることを示しているのか？》

* 現状アブソーバの温度上昇から、SCW 運転のビーム蓄積電流上限値は、～10mA 程度が、現実的値 (?)。

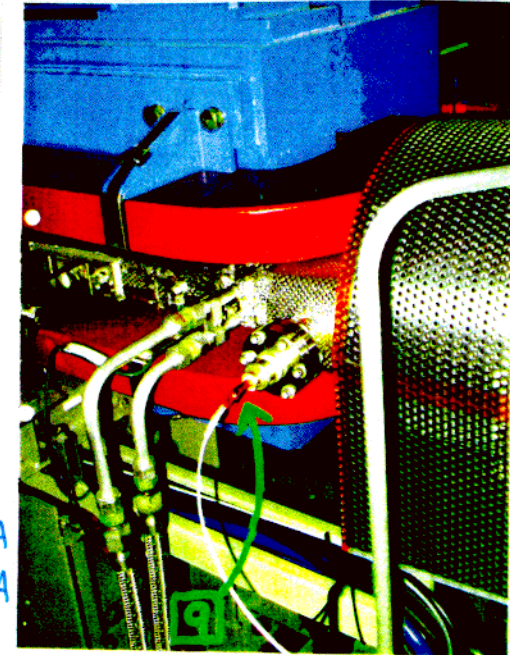
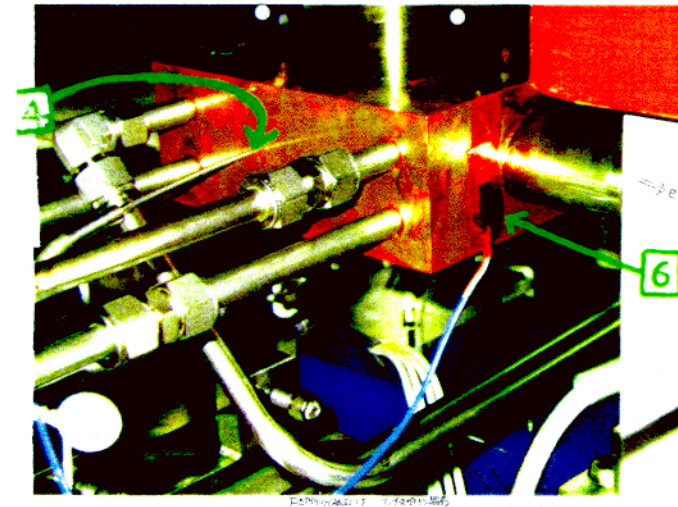
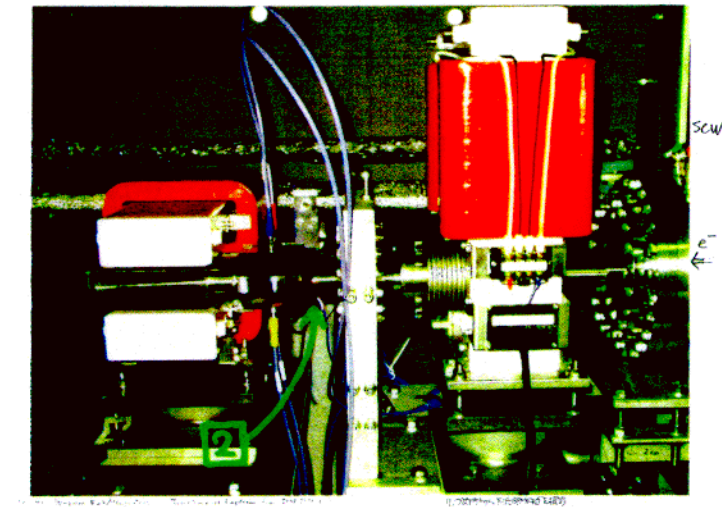
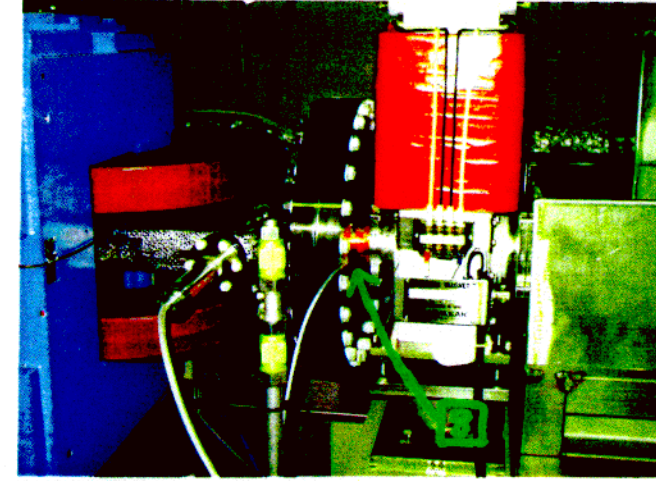
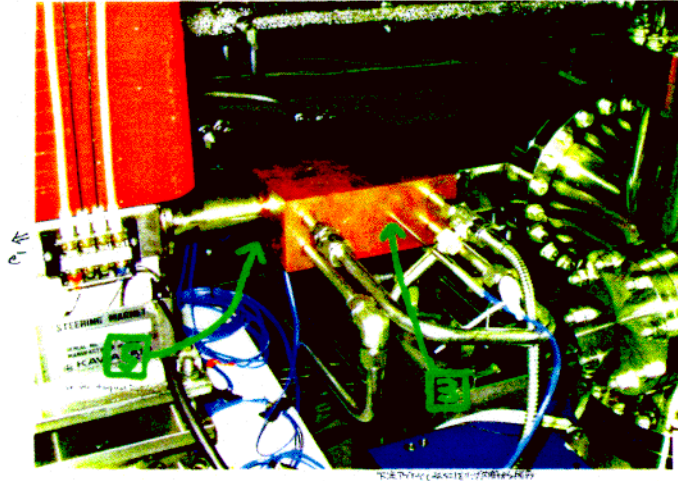
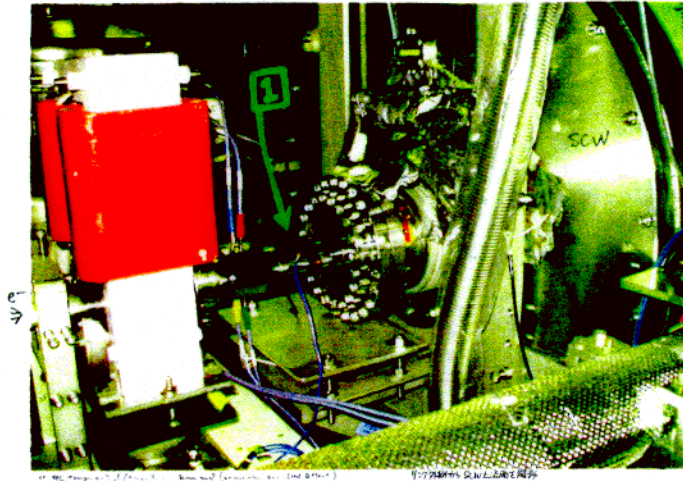
SCW 放射光とB 電磁石放射光の比較



7ロツケによる散乱光のデータ
今井寿乃氏の修論より

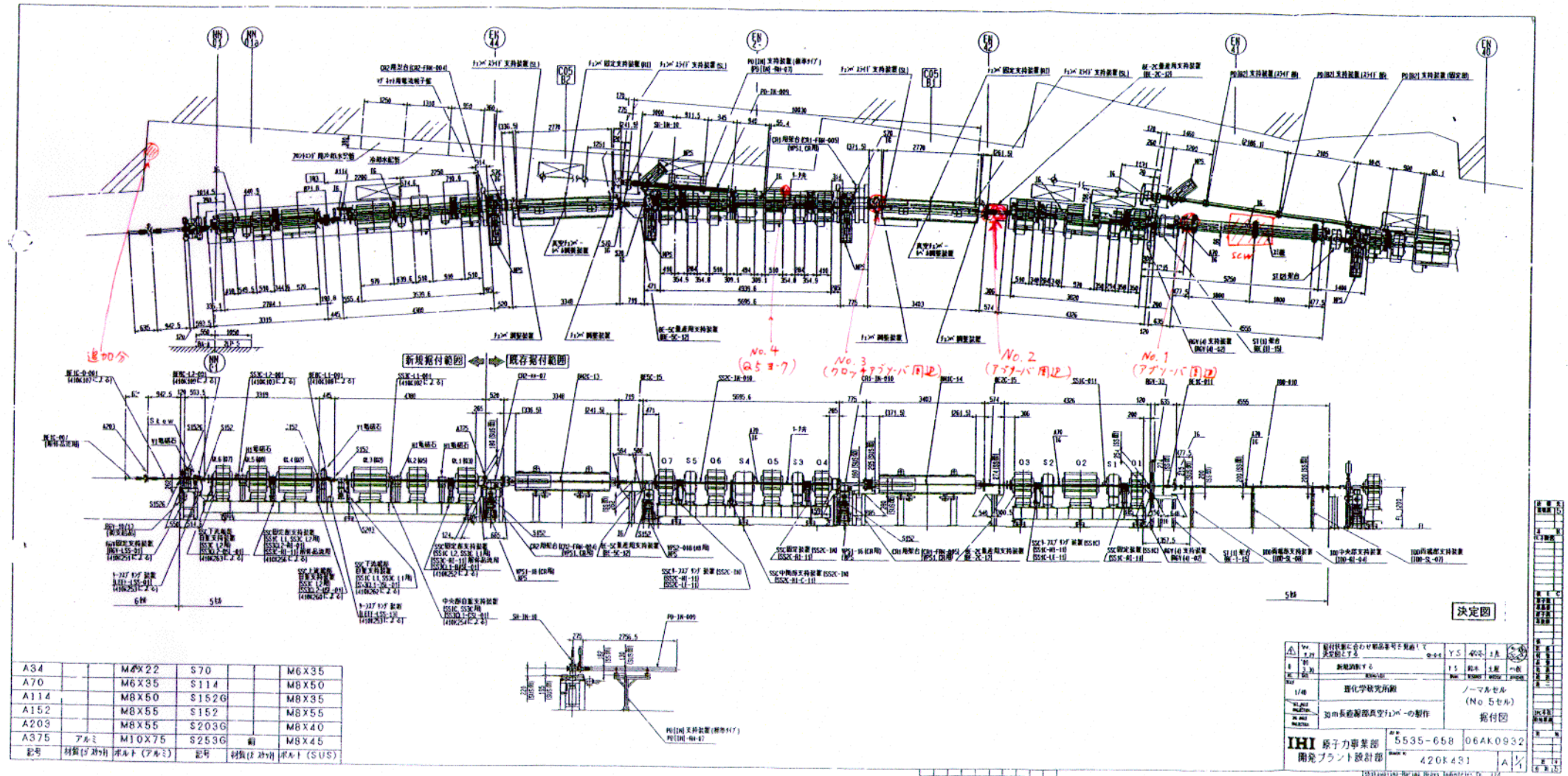
$$\textcircled{3} \quad 0.65^{\circ}\text{C} / 0.91\text{mA} \rightarrow 0.71^{\circ}\text{C} / \text{mA}$$

$$\textcircled{5} \quad 1.55^{\circ}\text{C} / 0.91\text{mA} \rightarrow 1.70^{\circ}\text{C} / \text{mA}$$



$$\textcircled{4} \quad 1.32^{\circ}\text{C} / 0.91\text{mA} \rightarrow 1.45^{\circ}\text{C} / \text{mA}$$

$$\textcircled{6} \quad 0.92^{\circ}\text{C} / 0.91\text{mA} \rightarrow 1.01^{\circ}\text{C} / \text{mA}$$

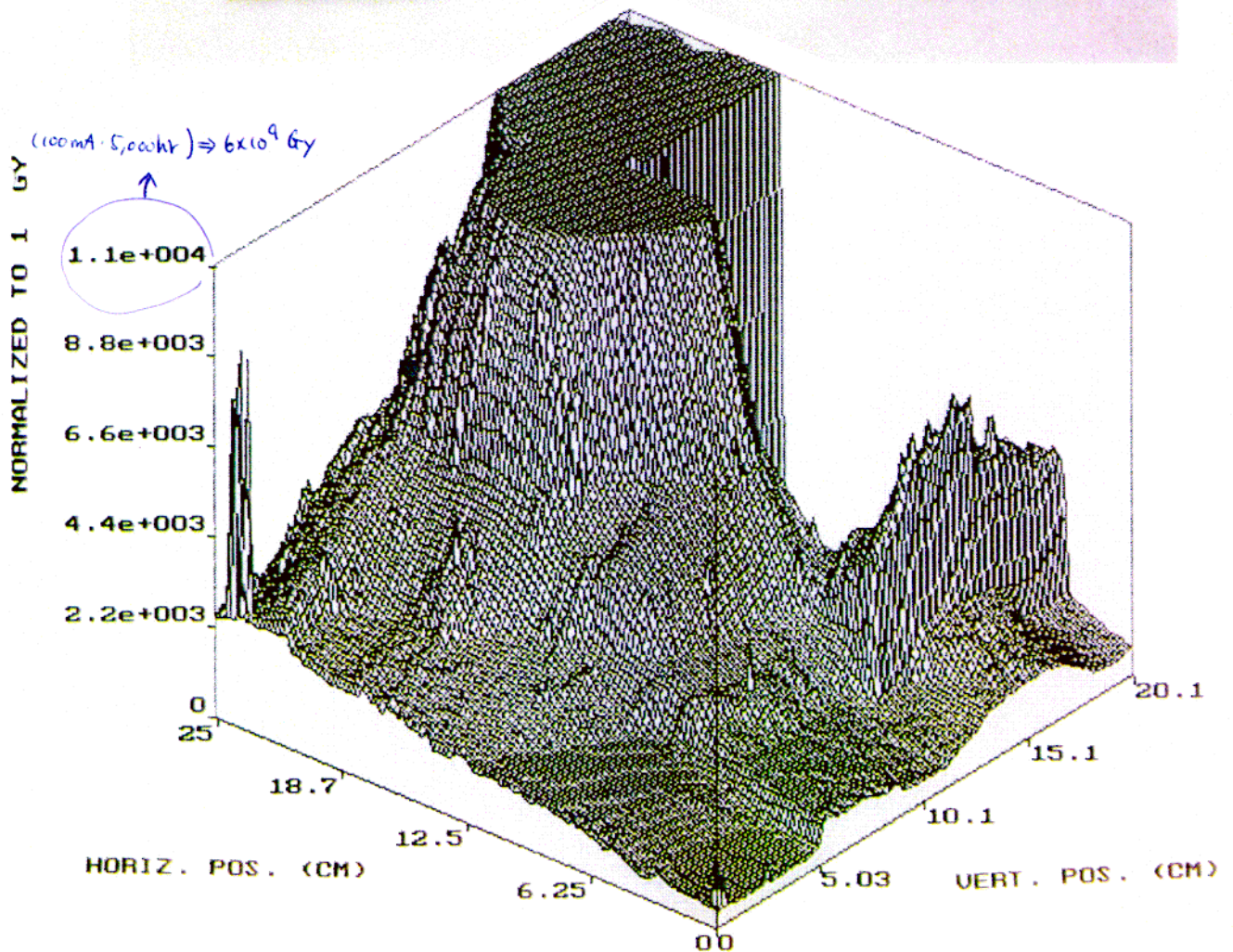
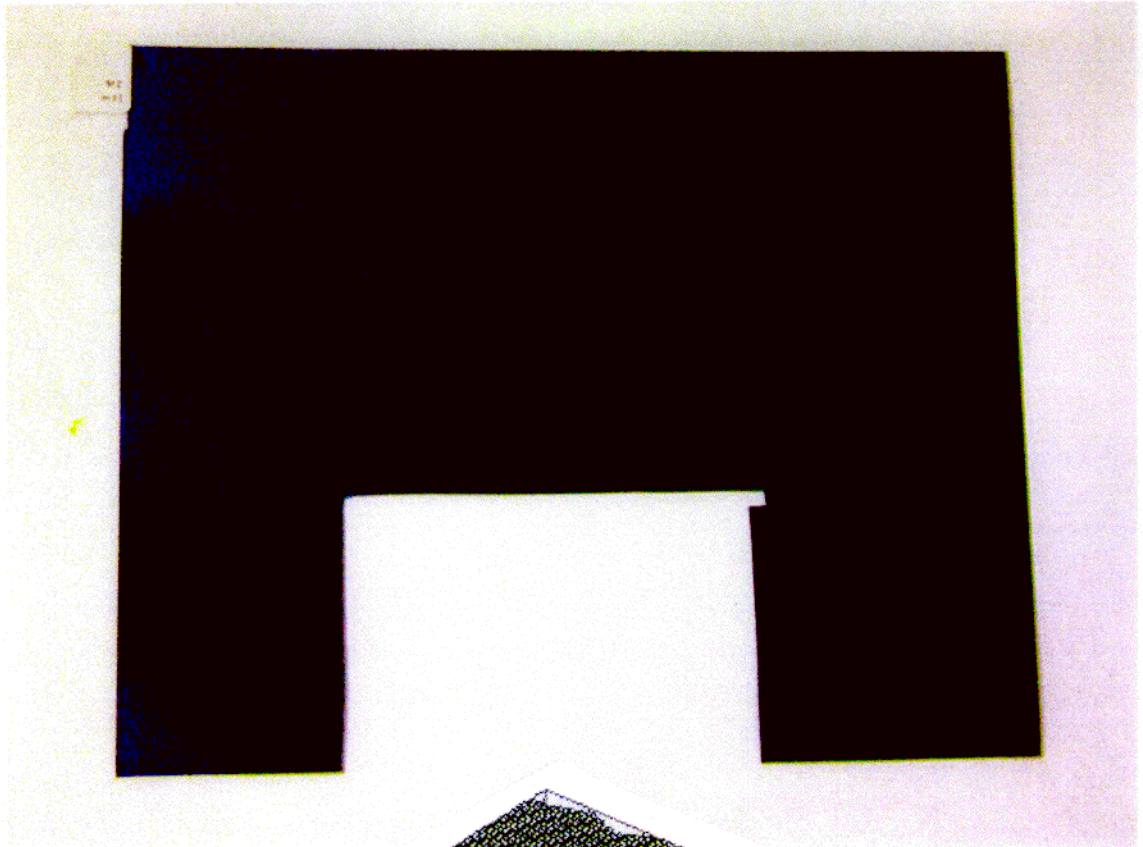




Scal 1.50T
Integrated Dose: $9.81 \times 10^{-4} \text{ Ah}$
(0.91 mA $\rightarrow$ 0.86 mA)

scw 9.50 T
 Int. Dose : 9.81×10^{-4} A·hr (0.91mA $\rightarrow$ 0.86mA ; 65 min)

*** scw2a (05B1 上流にあるアブソーバーの下流。ビームに対して垂直な面。) ***



C:\RIT113\examples\Accelerator\scw\scw2a.hdr scw 2a 140°

SCW 放射線線量評価

ガフクロミックフィルムによる測定値（最大値がスケールオーバーしている）

1.1×10^4 Gy : Integrated Dose; 9.81×10^4 A·Hr（蓄積電流；0.91mA → 0.86mA／65min）

年間被爆量（Int. Dose; $100\text{mA} \times 5,000\text{Hr} = 500\text{A} \cdot \text{Hr}$ ）に換算； $1.1 \times 10^4 \times [500 / (9.81 \times 10^4)] \sim 6 \times 10^9$ Gy

TLD による放射線線量；13.0Gy

アブソーバから TLD までの距離 ～1.4m、

ガフクロミック ～5cm

TLD をガフクロミックフィルムと同じ位置の年間被爆量； $13.0 \times [500 / (9.81 \times 10^4)] \times 1.4^2 / (5 \times 10^{-2})^2 \sim 5.2 \times 10^9$ Gy
となり、ガフクロミックフィルムによる線量測定値と一致している。

現状のままユーザ運転（100mA）との共存は無理！！！！

EP ゴム（電磁石冷却水絶縁用配管ゴムホース）の放射線損傷が、 5×10^5 Gy 程度

（実際に SPring-8 放射線計測からこのゴムホースは、 $\sim 10^5$ Gy 程度あび、破断している）

EP ゴムほど弱くなくても電磁石コイルの絶縁物、電磁石励磁電流用ケーブル（有機材）使用；放射線損傷の問題は大きい

SCW 放射光は発散角が大きく、電磁石への照射を完全に遮蔽することは困難である。？

放射線損傷限界の評価が必要であり、十分な余裕を持った運転範囲に抑える必要がある。？？？

当面は SCW 放射光の有用性を示すため、試験実験が中心！（？）

例えば、10mA、100Hr (= 1A·Hr)とすると、

1.2×10^7 Gy

現実的な値？

SCW 2nd Phase Plan

SCW 現状

SCW 任意の励磁値で入射・蓄積できる

問題点 (致命的な事項はない?)

1) SCW の主電流値に対して、副電流値の設定再現性に問題

強磁場 (超伝導磁場に依らない) 特有の履歴の問題。設定磁場の再現化を行えば、かなり改善できるが、電流定格値への上昇あるいは下降だけで、20 分要するため、再現化試験は行っていない。低磁場でビーム入射を行い、運転パラメータの補正を適時行いながら、定格磁場に励磁することは可能である。このようにして一度設定ができれば、この後、追加入射は可能である。

2) 定格励磁時の液体ヘリウムの消費が大きい

永久電流モードが前提であり、電流減衰を適時補うように計画されていたが、うまく動作していない。(また、動作したとしても、電流補正量が 10^{-4} 程度と荒いため、この補正が瞬時に行われると、ビーム軌道に影響がでることが懸念される。) このため、**ビーム試験は実用的と思われる直接通電**で SCW 励磁を行っている。定格励磁時には、液体ヘリウム液面は 9%/12hr 程度低下する。通電による電流リード棒からの熱侵入もあるが、永久電流モードを切るために内部にあるスイッチを暖めていることによる液体ヘリウムの損失が大きいのではないかとされている。(ロシア側で調査中?)

3) ビームサイズ (水平方向) は約 2 倍である

従って、エミッタンスは 4 倍程度劣化すると思われる。

4) 消磁方法が確立できていない

SCW 使用後、通常運転に復帰する場合、SCW 残留磁場の消磁を確認する方法が確立しているとは言えない。通常運転時に何らかの理由で冷却を停止した場合、SCW ヘリウム容器の昇温により、残留磁場が突如変化するものと思われる。この変化は、通常行っている COD 補正量の 5 倍程度の変化率と推測される。

SCW 2nd Phase Destination

SCW の低電流ビーム試験により**加速器運動学上の検証は終了**した（と思われる）。

“ユーザ利用を目指す”

- 1) 専用実験ハッチの建設は実施できない
- 2) **SCW 放射光の有用性**を示し、利用実験エリア建設の本格的計画を立案・提案
- 3) 既存 SCW による実験・検討
- 4) 当面、収納部の条件から**陽電子実験が可能か？**
- 5) 陽電子生成量及び生成量の改善

陽電子生成量の確認

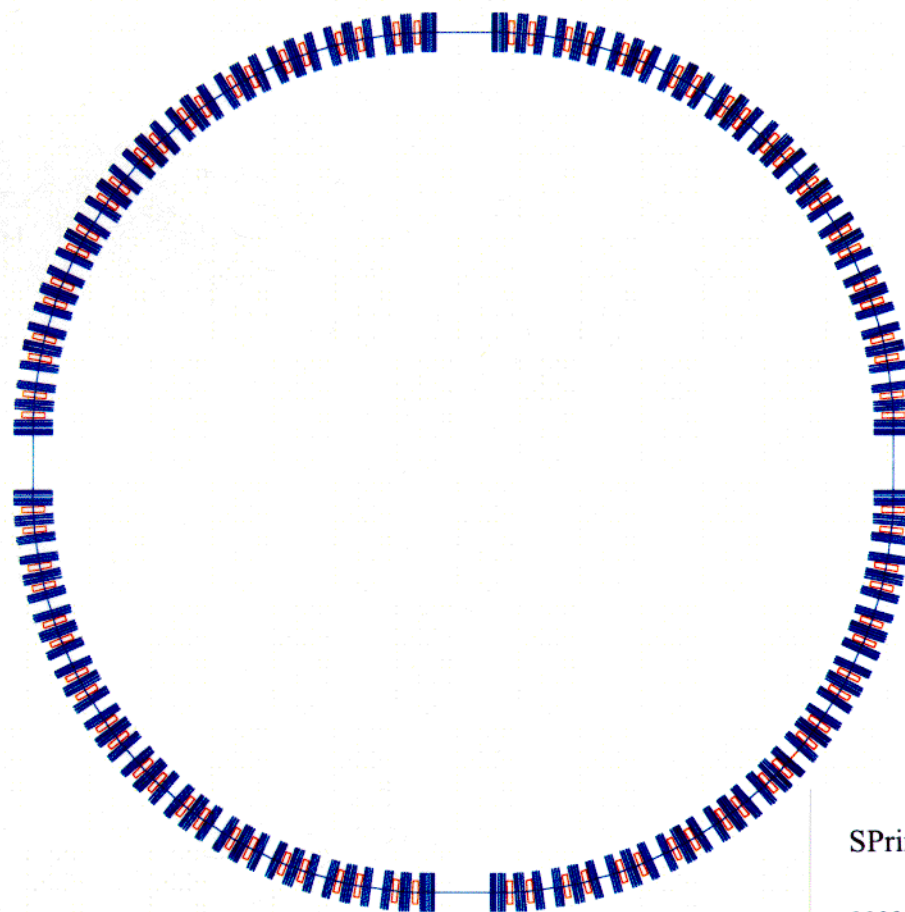
利用できる陽電子量の向上

ターゲット-モデレータ装置の試作、陽電子数の（判定的）確認

* 「SPring-8 SCW 放射光利用実験の可能性（仮題）」研究会；半年に一回程度開催？

* 利用の範囲に、**SCW 放射光を直接利用**する研究も含める。

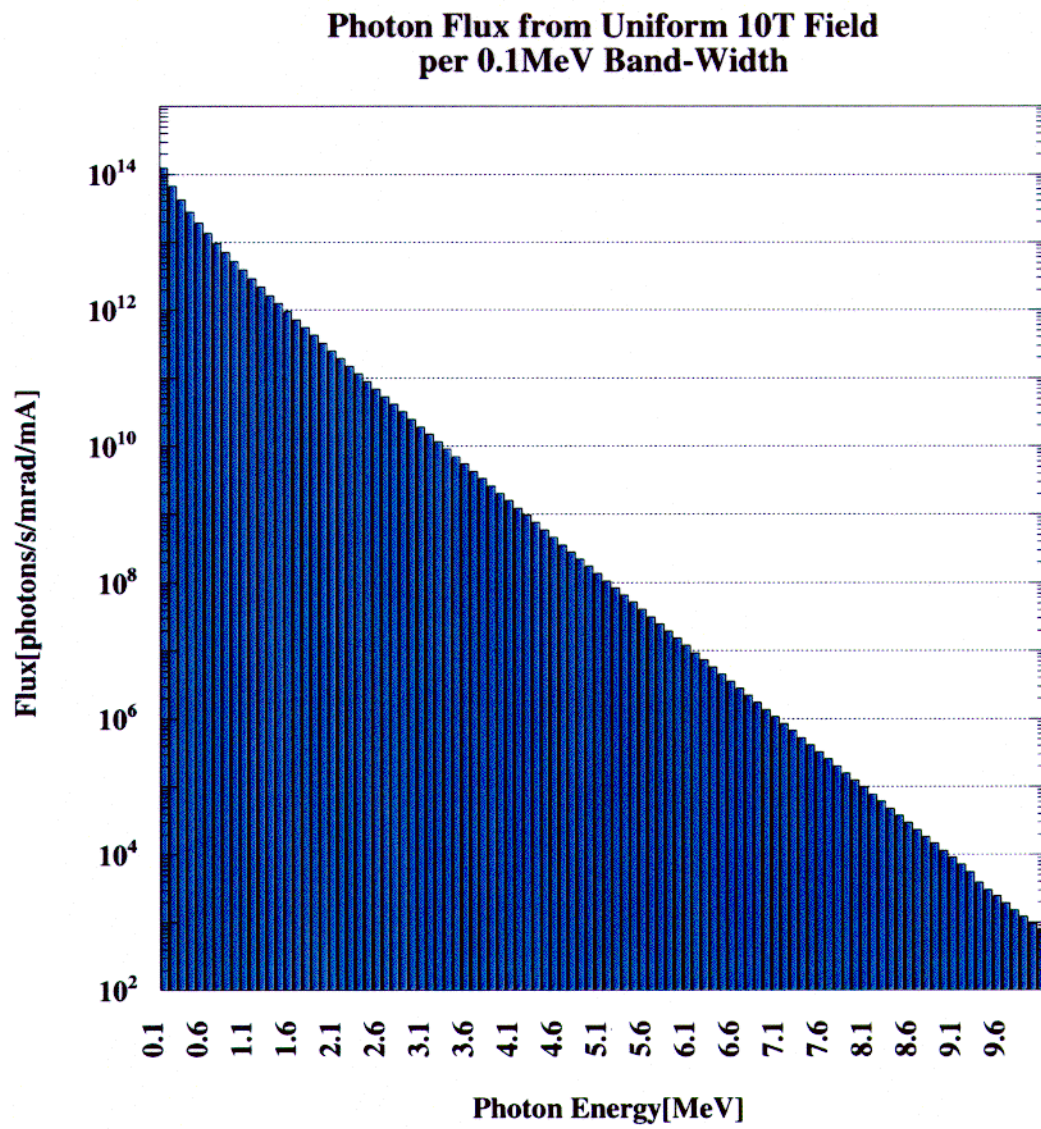
by K. Saitome



SPring-8 蓄積リング電磁石配置図

2000 年夏期停止期間中に Phase-2 Lattice に変更。
Phase-2 Lattice は対称な位置 4 箇所に電磁石を配置
しない（軌道補正用電磁石数台のみ設置）約 30m
長直線部(LSS)を持つ。このうち、LSS-B に全長
約 25m の長尺アンデュレータが設置されている。

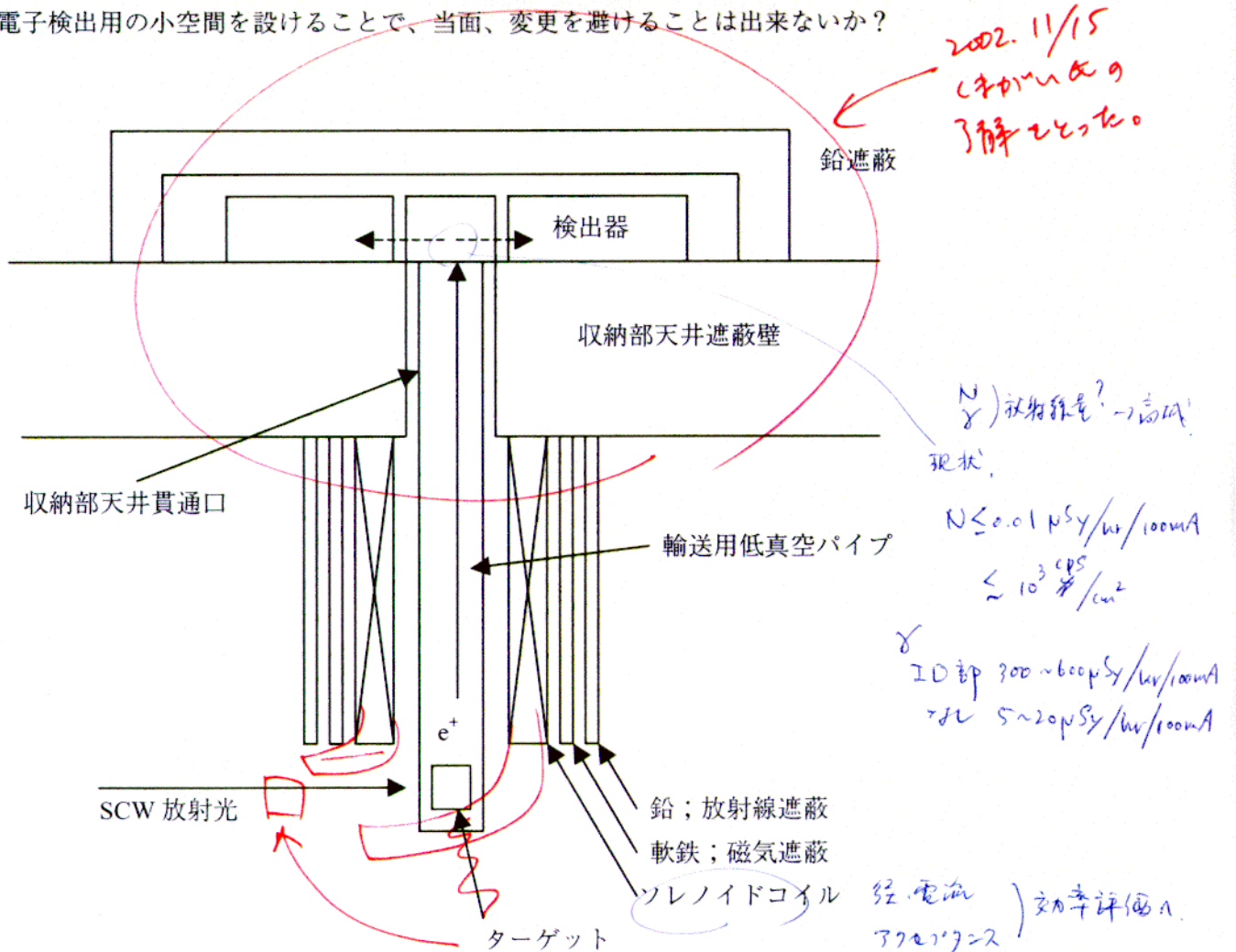
by K. Soutome



陽電子輸送

SCW 放射光により生成される（実験に使える）陽電子量の評価を行うために、少なくとも、陽電子は、バックグラウンドの低い遮蔽体（収納部外？）外に取り出す。偏向電磁石（補正電磁石相当）により、天井方向に陽電子を偏向する、あるいはソレノイド電磁石によりガイドする方法を考える。収納部外（天井外壁）に取り出すと申請上の変更を伴う。

貫通口の拡大解釈として、天井上に鉛遮蔽体で囲い、陽電子・ γ 線はその鉛遮蔽から外にでないような陽電子検出用の小空間を設けることで、当面、変更を避けることは出来ないか？



この図を見れば分かるように、これはケーブル貫通の処理部に良く似た構造であり、鉛遮蔽厚を陽電子消滅時の γ 線 511keV に留意すれば、実験ホールに放射線を漏らすことはないと思われる。

$$N: 10^{12} \text{ cps} - 8 \text{ Sy}$$

$$0.01 \mu\text{Sy/hr}/100\text{mA}$$

$$\sim 10^{-2} - 6 - 1 = 10^{-9}$$

$$10^{12} \times 10^{-9} \text{ cps} \sim 10^3 \text{ cps}/\text{cm}^2$$

ソレノイド磁場による陽電子輸送の評価

陽電子生成条件

SCW : 10T
Window : AL 3mm
SR Aperture : +1.69mrad, -0.69mrad

ソレノイド
磁場 : 0.1T
直径 : 100mm

実現可能な値

$$B = \mu_0 n I$$

n turn/m.
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

$$0.1T \rightarrow 8 \times 10^4 \text{ A} \cdot \text{turn/m.}$$

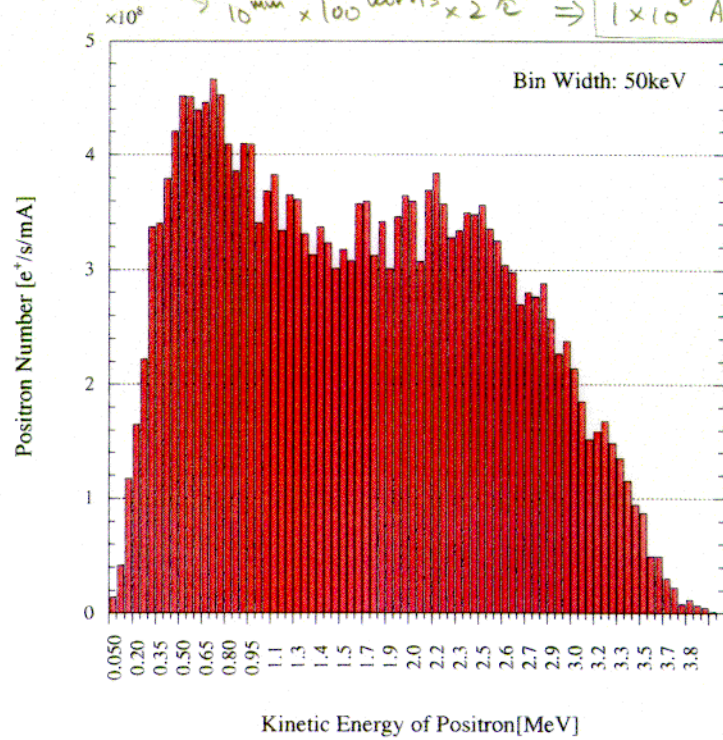
$$Q_{\text{max}} : 540A (10 \times 12, \phi 5 \text{ hollow conductor})$$

$$\rightarrow 10 \text{ mm} \times 100 \text{ turns} \times 2 \Rightarrow 1 \times 10^6 \text{ A} \cdot \text{turns/m}$$

輸送前

陽電子数 :

$$2.1 \times 10^{10} [e^+/\text{s}/\text{mA}]$$

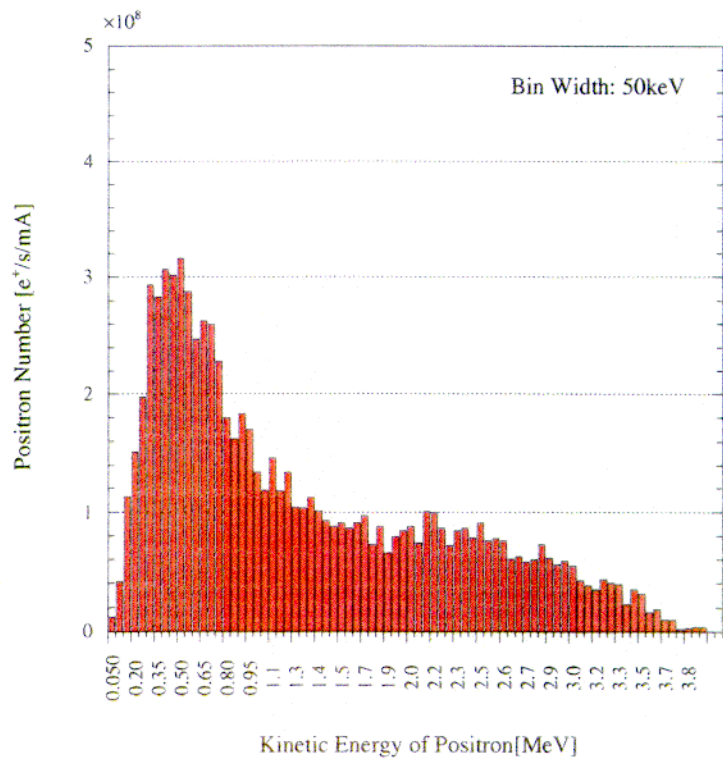


輸送後

陽電子数 :

$$8.0 \times 10^9 [e^+/\text{s}/\text{mA}]$$

効率 : 38%



SCW 2nd Phase Schedule

H2003, 3/24-25; 「SCW ワークショップ」 SPring-8 で開催

H2003; SCW 設置検討開始 (SCW 真空槽、アブソーバ、放射線遮蔽体、収納部内ビームライン)

4～9 月;ワークショップの検討結果、再度蓄積リングに SCW 設置計画を検討

9 月; SPring-8 安全管理室に計画を持込 (⇔ SPring-8 加速器部門内のコンセンサス)

SCW 高エネルギー放射光による試験研究の安全性検討開始

4～10 月; 陽電子輸送用電磁石設計／陽電子収量評価と同時に輸送系検討

試作電磁石による陽電子輸送量の**実験的評価 (10 月～H2004,3 月)**；実施方法？

9～11 月; 第 2 回「SCW ワークショップ」をこの期間に開催する。

／試験研究・本格的実用化計画 (本計画) に具体性を与える検討を行う

11 月; 試験研究の実施計画。同時に、**本格的実用化計画作成開始 (SPring-8 H16 年度概算要求)**

H2004, 3 月; SCW 試験研究計画の安全申請変更許可

長期停止期間にわたり SCW を蓄積リングに設置する準備を開始

夏期期間にリングに設置か？

9 月～ ; 試験研究開始 (短期間励磁、ビームスタディとしての運用か?)

***** 以下は、上記試験研究による有用性実証、通常運転時の問題点が解決できないといけない*****

H2004,11 月 ; SCW 高エネルギー放射光の本格利用に向け建設計画を SPring-8 に提出／許可

H2005～H2006 ; 建設実施、試験運転及び試験研究

H2007 ; SCW 高エネルギー放射光利用実験開始