

# 中部シンクロtron光利用施設（仮称）の放射線しゃへい設計検討

森本 浩行

工学系技術支援室 装置開発技術系

## はじめに

工学系技術支援室 装置開発技術系では、小型シンクロtron光研究センターからの業務依頼に基づき、中部シンクロtron光利用施設（仮称）（以下「中部 SR 施設」という。）の設計支援を行っている。これまでに担当した業務について報告する。

## 概要

小型シンクロtron光研究センターが発足した平成 19 年 4 月以降、主に以下の 6 項目について業務を担当してきた。

- ① [設計支援] シンクロtron光発生装置及び測定システムの設計支援（電子蓄積リング、ブースターシンクロtron、直線加速器及び建屋の CAD 図面作成（図 1 参照））
- ② [広報資料の作成・管理] 小型シンクロtron光研究センターホームページ等の作成、管理、更新
- ③ [許認可対応] 放射線発生装置の使用許可申請対応
- ④ [運転方法の習得] UVSOR 等放射光施設における運転訓練及び調査
- ⑤ [超伝導ウイグラーの管理] 超伝導ウイグラーの運転及び保守
- ⑥ [実験支援] 小型シンクロtron光研究センターに関連する学生実験支援

これらの内、③の放射線発生装置の使用許可申請に必要な放射線しゃへい設計について、これまで検討した成果をまとめた。

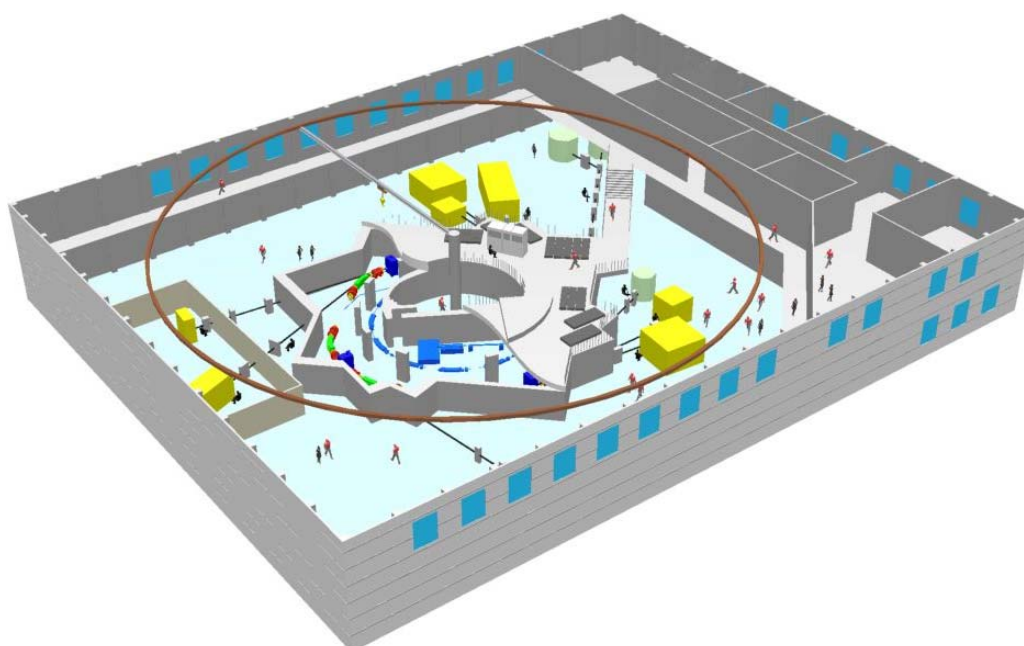


図 1 中部 SR 施設 建屋鳥瞰図

# 1 内容

## 1.1 目的

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律により、シンクロトロン等の放射線発生装置を使用しようとする者は文部科学大臣の許可を受ける必要がある。許可を受けるために提出する申請書の記載事項の1つに、放射線しゃへいについての項目がある。本検討では、中部SR施設の放射線しゃへいについて設計検討することが目的である。

## 1.2 手順

検討を開始する前に全体計画を策定し、業務フローを作成した(図2参照)。この業務フローに従って検討を進めた。



図2 業務フロー

## 1.3 前提条件

中部SR施設の運用方法は24時間運転とし、蓄積された電子(300mA)は2時間で全て損失すると仮定した。入射効率、損失箇所、損失電子数〔個/週〕を図3に示す。

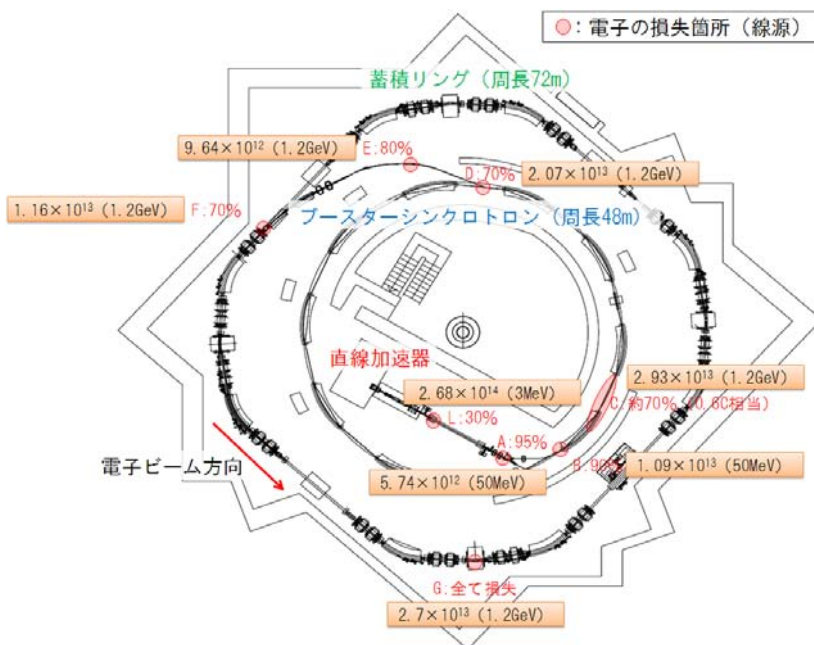


図3 入射効率及び1週間あたりの損失電子数

## 1.4 線量評価点の設定

線量評価点は最も線量が大きくなると想定される場所を代表的に選ぶ。線源からの距離については建屋平面図(CADデータ)から距離を求め、角度については前方(0°)、側方(90°及び270°)、上方を選定した。管理区域内、管理区域境界、事業所境界における放射線量が法令規制値以下となるようなしゃへい設計とした。

### 1.5 放射線量の計算

放射線量の計算式は、他放射光施設で使われている式を利用し（表 1 参照）、Microsoft Excel を用いて放射線量の計算を行った（図 4 参照）。業務の様子を図 5 に示す。中部 SR 施設は直線加速器（50MeV）、ブースターシンクロトロン（1.2GeV）、電子蓄積リング（1.2GeV）から構成され、それらの機器から発生する放射線量を計算により求めた。中部 SR 施設における加速器のパラメータを表 2 に示す。

表 1 放射線量の計算式<sup>※1</sup>

前方	
ガンマ線線量[1]	
$H_g = 1.0 \times 10^{-8} \cdot (10 \times E_0)^{1.47} \cdot r^{-2} \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot \mu_{pm})$	[Sv/e]
中性子線量[2]	
$H_{nh} = (p/r)^2 \times 4.0 \times \exp(-d/\lambda_{nh})$	[Sv/e] (高エネルギー中性子)
$H_{nj} = (p/r)^2 \times 22.7 \times \exp(-d/\lambda_{nj})$	[Sv/e] (巨大共鳴中性子)
側方	
ガンマ線線量[3]	
$H_g = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [1.33 \times 10^{-11} \cdot \exp(-\mu_p \cdot d / \sin \phi) \cdot (1 - 0.98 \cos \theta)^{-1.2} + 0.267 S_H \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_1 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \cdot (1 - 0.72 \cos \theta)^{-2}]$	[Sv/e]
中性子線量[4]	
$H_n = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [S_H \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_1 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \cdot (1 - 0.72 \cos \theta)^{-2} + S_M \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_2 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \cdot (1 - 0.75 \cos \theta)^{-1}] + 3.79 \times 10^{-13} \cdot Z^{0.73} \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_3 \cdot \sin \phi)^{-1}\}]$	[Sv/e]
ガス制動放射[5]	
$H_{br} = D \times 10^{-12} \times \exp(-d/\lambda_1) / r^2$	[Sv/h]
スカイシャイン[6]	
$H = H_{max} \cdot B \cdot R \cdot (16 \times r)^{-2} \cdot \exp(-r/\lambda_{air})$	[ $\mu$ Sv/h]
迷路ストリーミング	
ガンマ線線量[7]	
第 1 脚目の減衰割合： $g_1 = 0.22 \times (d + L_1)^{-3.0}$	
第 i 脚目の減衰割合： $g_i = 0.22 \times (d + L_i)^{-2.6}$ (i=2, 3, ...)	
ガンマ線線量[7]	
第 i 脚目の減衰割合： $f_i = f_e \times \{\exp(-L_i/0.45) + 0.022 S^{1.3} \cdot \exp(-L_i/2.35)\} / (1 + 0.22 S^{1.3})$	
ダクトストリーミング	
ガンマ線線量[8]	
減衰割合： $g_i = (1/8) \times (d/L_1)^2 \times \Pi \{ (1/8) \times (d/L_i)^2 \times (\alpha / \sin \theta_i) \}$	
中性子線量[8]	
減衰割合： $f_i = 2 \times (1/8) \times (d/L_1)^2 \times \Pi \{ (1/8) \times (d/L_i)^2 \times (\alpha / \sin \theta_i) \}$	
$\mu$ 粒子[9]	
$H_\mu = [25 / \{25 + (X/X_0)\}] \times [ \{X(E_e) - X\} / X(E_e) ] \times H_0$	[Sv/h]
$H_0 = 8.0 \times 10^{-15} \times J \times E_e / r^2$	[Sv/h]
放射化（空気、水）[10]	
出典参照	

※1：各パラメータの意味は参考文献を参照

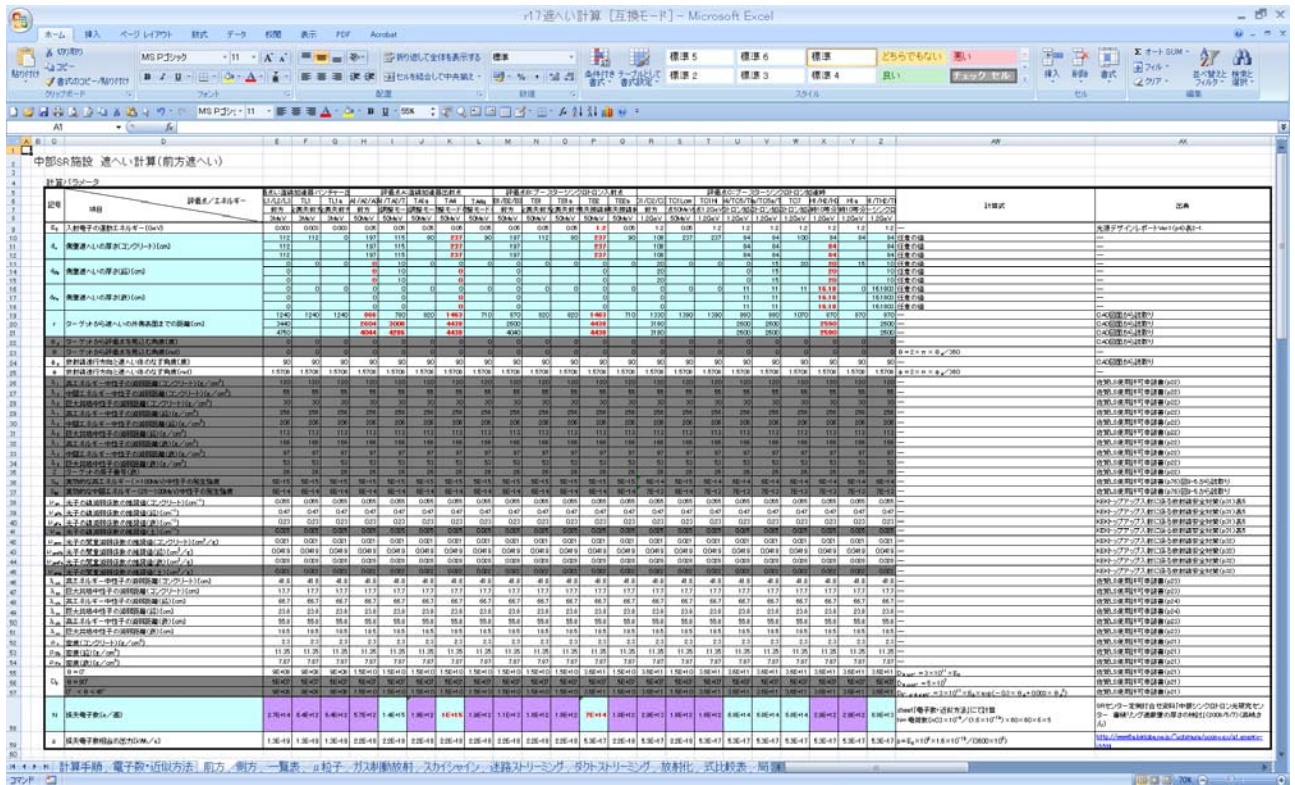


図4 Microsoft Excel による放射線量の計算

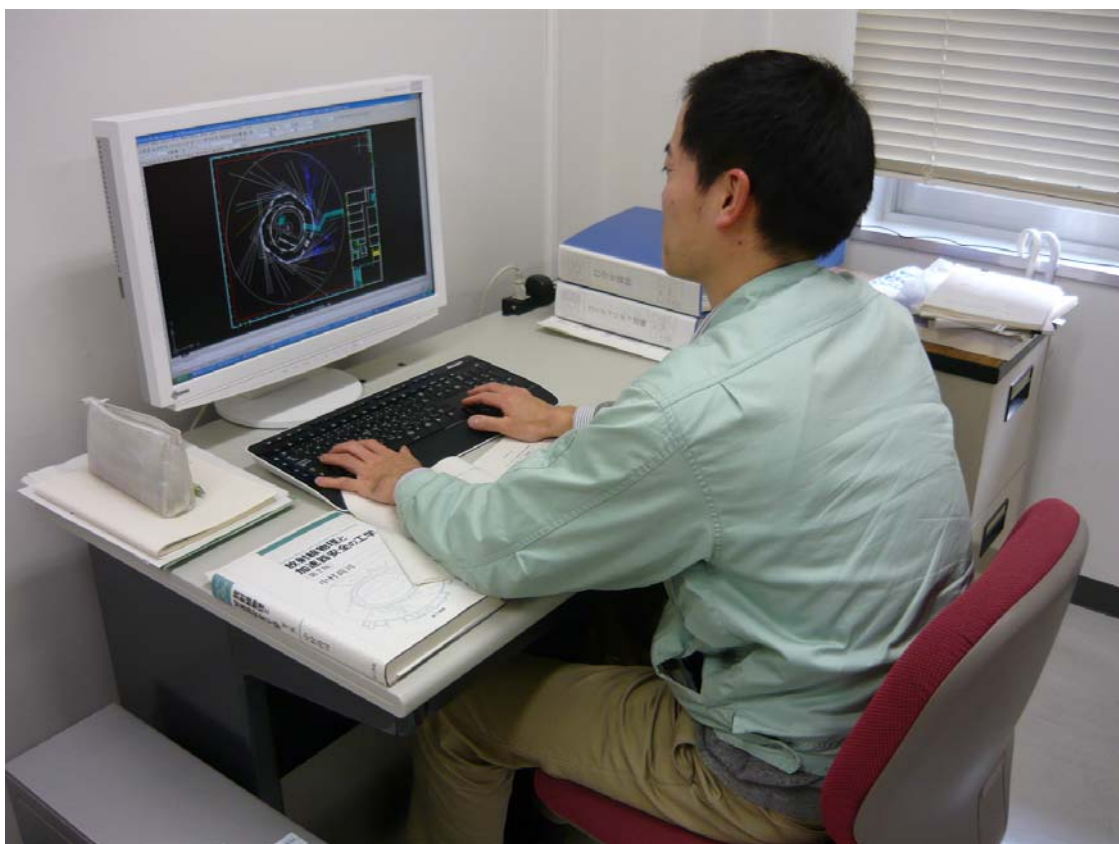


図5 業務風景

表 2 加速器パラメータ

【蓄積リング】	
蓄積電子エネルギー	1.2GeV
周長	72.0m
蓄積電流	300mA 以上
エミッタンス	53nm-rad
エネルギー広がり	$8.41 \times 10^{-4}$
ベータatronチューン	(4.72,3.23)
モーメントムコンパクションファクター	0.020
エネルギーロス	86.2keV/turn
周回周波数	4.164MHz
RF 周波数	500MHz
ハーモニック数	120
RF 加速電圧	500kV
RF バケットハイト	0.926%
常伝導偏向電磁石 (1.4T)	偏向角 39°×8 台
超伝導偏向電磁石 (5T)	偏向角 12°×4 台
ラティス構成	Triple Bend セル 4 回対称
挿入光源用直線部	5.2m×1 本, 4.3m×1 本
【1.2GeV ブースターシンクロトロン】	
入射エネルギー	50MeV
最高エネルギー	1.2GeV
偏向電磁石磁場	1.0T
周長	48.0m
エミッタンス	約 200nm-rad
RF 加速周波数	500MHz
加速繰り返し	1Hz
電流	20mA
ハーモニック数	80
【直線加速器】	
電子エネルギー	50MeV
ピーク電流	60mA
パルス幅	<160nsec
加速繰り返し	1Hz

## 2 総括

計算結果より、中部 SR 施設に必要なしゃへい壁の厚さや配置を検討した。検討後のしゃへい壁を図 6 に、検討前のしゃへい壁を図 7 に示す。これらの設計検討により、中部 SR 施設における放射線しゃへい設計の最適化を行うことができた。

中部 SR 施設は愛知県瀬戸市及び豊田市に建設予定であり、平成 24 年度の供用開始に向けて敷地造成工事中である。中部 SR 施設の整備スケジュールを図 8 に、参考図を図 9～図 11 に示す。今後の展開としては、放射線量の計算式の出典確認（文献調査）、使用許可申請書の作成、理論値と実測値の比較及び検証（中部 SR 施設の供用開始後）等を考えている。

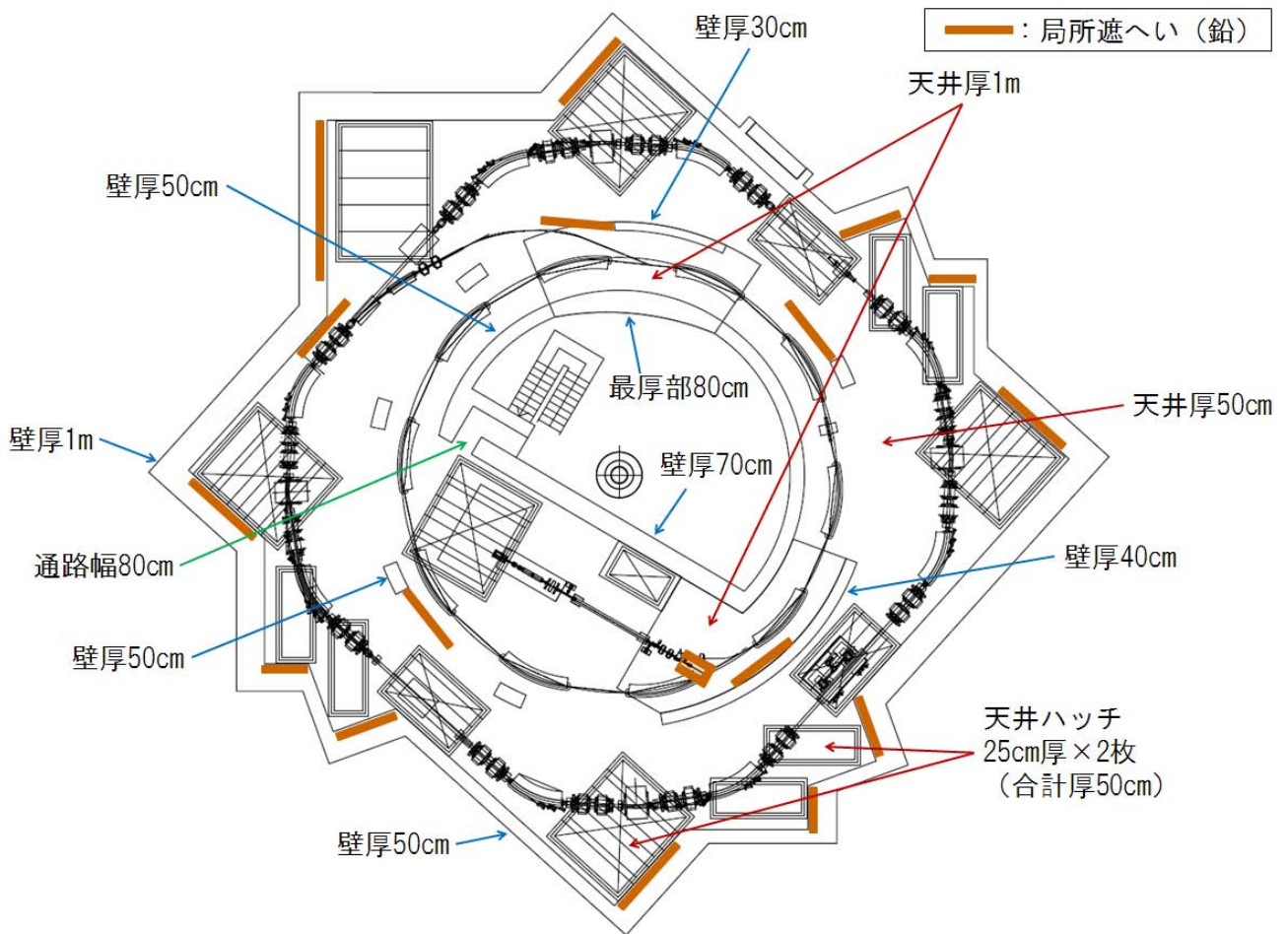


図5 中部SR施設 シャーヘイ壁 (検討後)

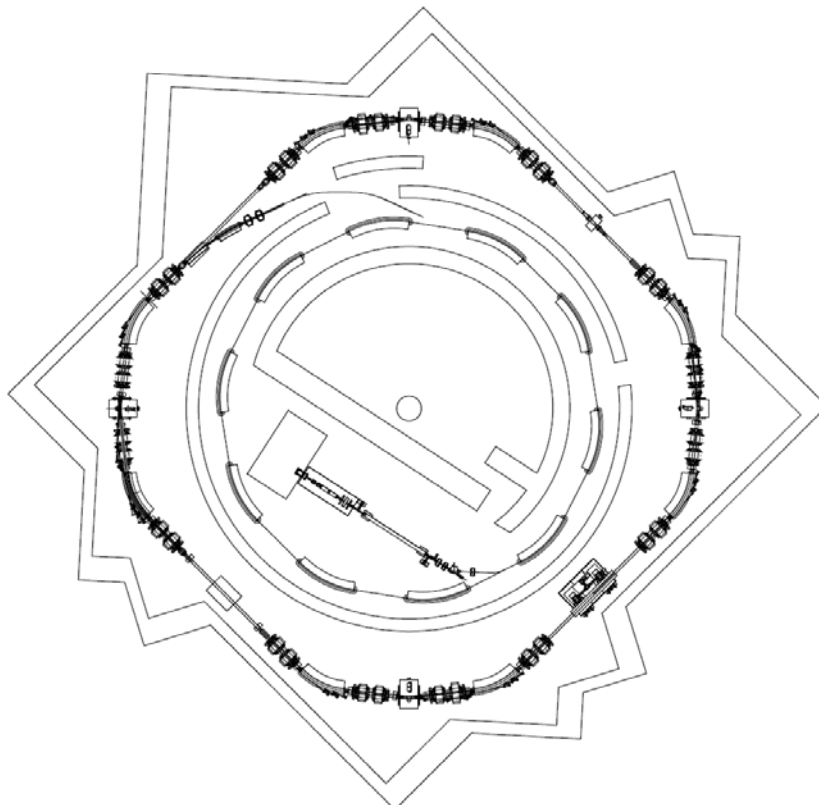


図6 中部SR施設 シャーヘイ壁 (検討前)

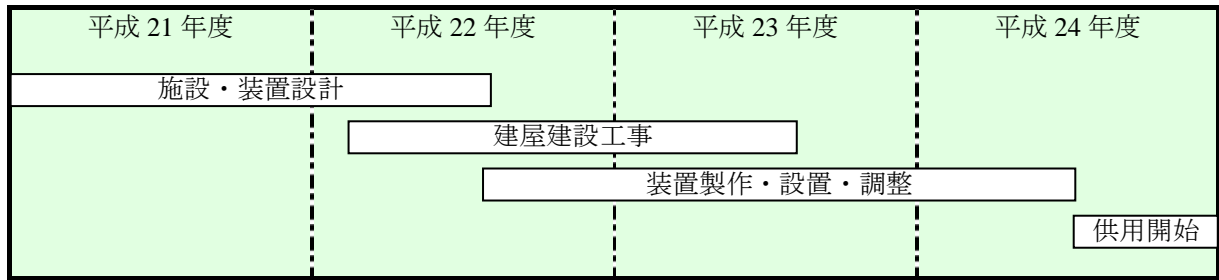


図 7 中部 SR 施設 整備スケジュール



図 8 中部 SR 施設 実験ホール 完成予想図



図 9 知の拠点 完成予想図



図 10 造成工事状況（平成 21 年 12 月 27 日）

## 参考文献

- [1] M. Sakano et al., Radiat. Prot. Dosim., 37 (1991) 165-173.
- [2] E. Braeuer, Radiation Shielding for the 6GeV ESRF/Shield/88-04 (1988)
- [3] H. Dinter and K. Teach: Nucl. Instr. Meth., 143,349 (1977)
- [4] T. M. Jenkins, Nucl. Instr. Meth., 159,265 (1979)
- [5] JAERI-Tech 98-009 大型放射光施設 SPring-8 の放射線遮蔽と安全評価（原研） p5 式 (2.6)
- [6] 放射光科学研究施設・光源リング トップアップ入射に係る放射線安全対策（高エネ研） p32 Thomas の式 (1978)
- [7] 放射線発生装置の使用許可申請書（佐賀 LS） p38 Tesch の式 (1987)
- [8] 放射線発生装置の使用許可申請書（佐賀 LS） p41 Simon-Clifford の式
- [9] JAERI-Tech 98-009 大型放射光施設 SPring-8 の放射線遮蔽と安全評価（原研） p4 式 (2.4) (2.5) Swanson の式 (1979)
- [10] JAERI-Tech 98-009 大型放射光施設 SPring-8 の放射線遮蔽と安全評価（原研） p34～36 式 (2.26) ～ (2.36)
- [11] 放射線発生装置の使用許可申請書（SPring-8） p30