

SPring-8老朽化への対応

資料2-2
 科学技術・学術審議会 先端研究基盤部会
 大型放射光施設評価作業部会
 (第2回)平成25年4月26日

老朽化の例

Rf部アブソーバー放射線損傷	Rf D-st 空洞水漏れ 入射部チェンバー等の放射線損傷		クライストロン電源劣化 6極電磁石電源の老朽化が顕在化
		3本のIDで腐食による真空リーク 複数のBPM電極から真空リーク	蛋白室結晶解析用大型高感度X線 CCD検出器トラブル

故障・老朽化・陳腐化の進行要因 → 過酷・劣悪な動作環境
 ①製造中止、②放射線、③高電圧、④熱、⑤腐食、⑥測定データ量の増大

稼働性と発展性を考慮し対応

エミッタンス(6.8nmrad) top-up作業開始	エミッタンス(3.4nmrad) top-up運転の導入	高速・高精度BPMシステムに更新 (軌道安定化) 電子銃の二重化	エミッタンス(2.4nmrad) 熱源設備更新
液体窒素冷却分光器 CCD検出器の順次導入 KBミラーの順次導入 利用機器の自動化	ピンポイント構造計測装置開発 メールインシステム開始 PILATUS検出器導入開始	アンジュレータ短周期化 分光器安定化 超高繰り返しX線チョッパー開発	クライオアンジュレータ試験稼働 液体窒素冷却の安定化 遠隔実験システム運用開始

'97 '98 '99 '00 '01 '02 '03 '04 '05 '06 '07 '08 '09 '10 '11 '12 '13

大型放射光施設(SPring-8)の健全性(稼働性と発展性)の維持
 → 機能喪失・機能劣化(健全性の阻害要因)を効率的に最小化をする

施設、装置等の特性等を考慮

重大性
緊急性
拡大性

優先順位(基幹→個別)

- ①加速器系
- ②光源・光学系
- ③計測系

市場特性

- 価格
- 納期
- 寿命

最も効率的にリスク要因を除去

予防保全
事後保全

改善改良

保守・維持管理のタイプ

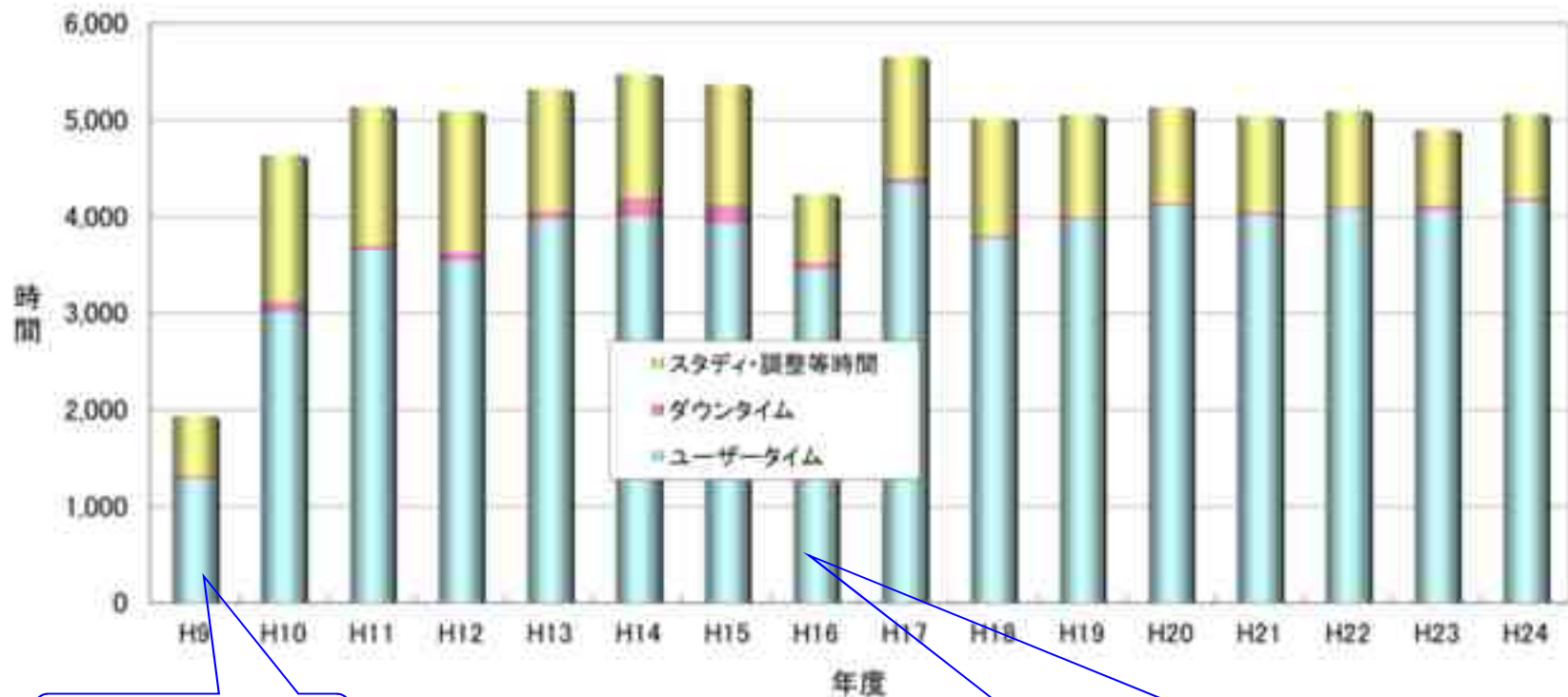
- 定期的(予防/延命)
- 集中的(効率化/高度化)
- 突発的(予見不能)

SPring-8の運転時間

★年間運転時間の80%程度をユーザータイムとして安定的に提供
 →前回評価(H19)以降、4,000時間以上のユーザータイムを確保。適切な保守と運転管理の証！

単位：時間

	H9年度	H10年度	H11年度	H12年度	H13年度	H14年度	H15年度	H16年度	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度
年間運転時間	1,932	4,640	5,137	5,090	5,311	5,467	5,363	4,233	5,651	5,012	5,055	5,133	5,035	5,096	4,904	5,063
スタディ・調整等時間	614	1,527	1,426	1,468	1,254	1,269	1,237	711	1,246	1,204	1,056	991	986	997	789	868
ユーザータイム	1,286	2,997	3,648	3,534	3,965	4,001	3,930	3,449	4,338	3,770	3,969	4,111	4,015	4,072	4,059	4,156
ダウンタイム	32	116	63	88	92	197	196	73	67	38	29	31	35	27	57	39



97年(平成9年)10月
供用開始

〔運転時間が短い理由〕
04年(平成16年)秋の台風による蓄積リング棟
屋根損傷復旧の影響

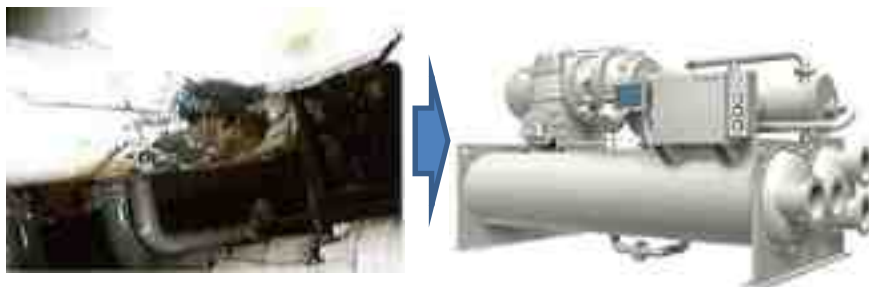
次を見据えた対策

基本的な考え方

世界最高の高エネルギー光科学分野を牽引する世界的拠点として、放射光利用により、持続可能な社会を実現するための様々な個別課題を解決してきたが、放射光施設自体も大幅な省エネ化を進める必要がある。

H24年度補正予算

加速器等冷却・空調システムの内、蓄積リング棟4区分の空調及び冷却系機器の更新



腐食した装置

稼働から15年以上経過した古い熱源機器等を更新することで、**老朽化による故障の回避や、保守性の向上**を図るとともに**消費電力等コスト削減**を図る。

H26年度概算要求予定

クライストロン高圧電源(4箇所)の更新

1ヶ所の電源喪失で**修理・復旧に半年**
2ヶ所の電源喪失で**全BLの停止を起こす。**



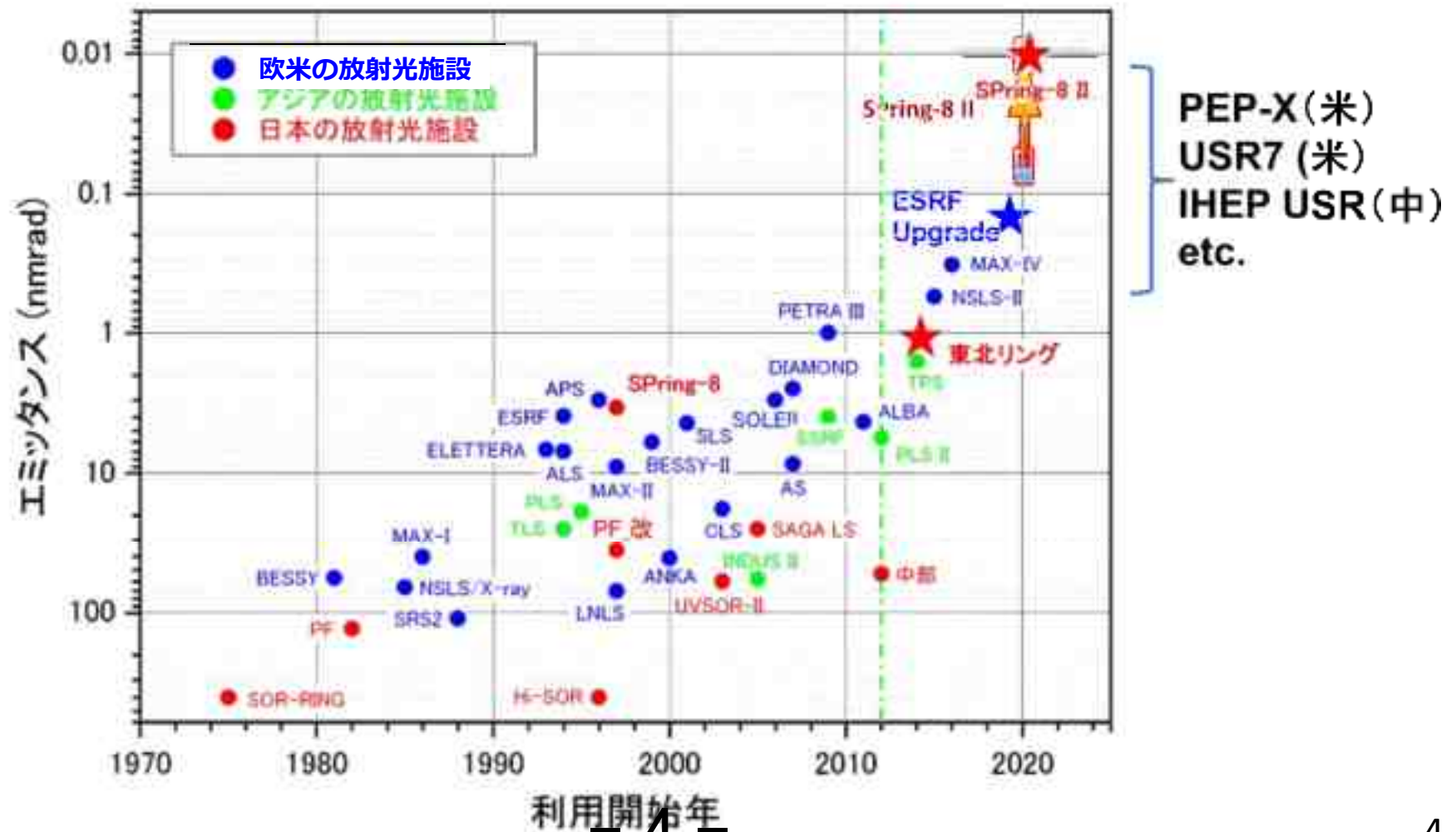
RFステーションに設置されている
大電カクライストロン高圧電源

稼働から15年以上経過し、部品の製造中止となった古いクライストロン電源部の更新を行うことで、故障による**全BL停止の回避**を図るとともに**消費電力等コスト削減**を図る。

加速する国際競争

提案されているERLを凌ぐ光源性能(~100 pm.radの自然エミッタンス)が
経済性の高い蓄積リング(周長約840m)で、既存技術の延長線上で可能

蓄積リングによる回折限界X線光源の本格的な検討が世界中で加速



回折限界リング(蓄積型)とERL(非蓄積型)との比較

	回折限界リング(蓄積型)	ERL(非蓄積型)
平均輝度	$10^{22} \sim 10^{24}$	$10^{22} \sim 10^{24}$
設置可能BL数	30~60本	30~60本
空間干渉度	数10%	数10%
ピーク輝度	$\sim 10^{25} \sim 10^{27}$	$\sim 10^{25} \sim 10^{27}$
パルス幅	長い(数10ps)	短い(100 fs~2 ps)
安定度	高い($\Delta E/E \sim 10^{-5}$, $\Delta I/I \sim 10^{-5}$)	低い(非蓄積型:未知数)
実験中断頻度	低い(平均Fault間隔>1日)	高い(非蓄積型:未知数)
運転信頼性	高い	低い(非蓄積型:未知数)
消費電力	小さい	大きい
主要機器開発リスク	低い	高い
費用対性能	高い	低い
放射線遮蔽	SPring-8と同程度	遙かに高い遮蔽を要する (非蓄積型:未知数)

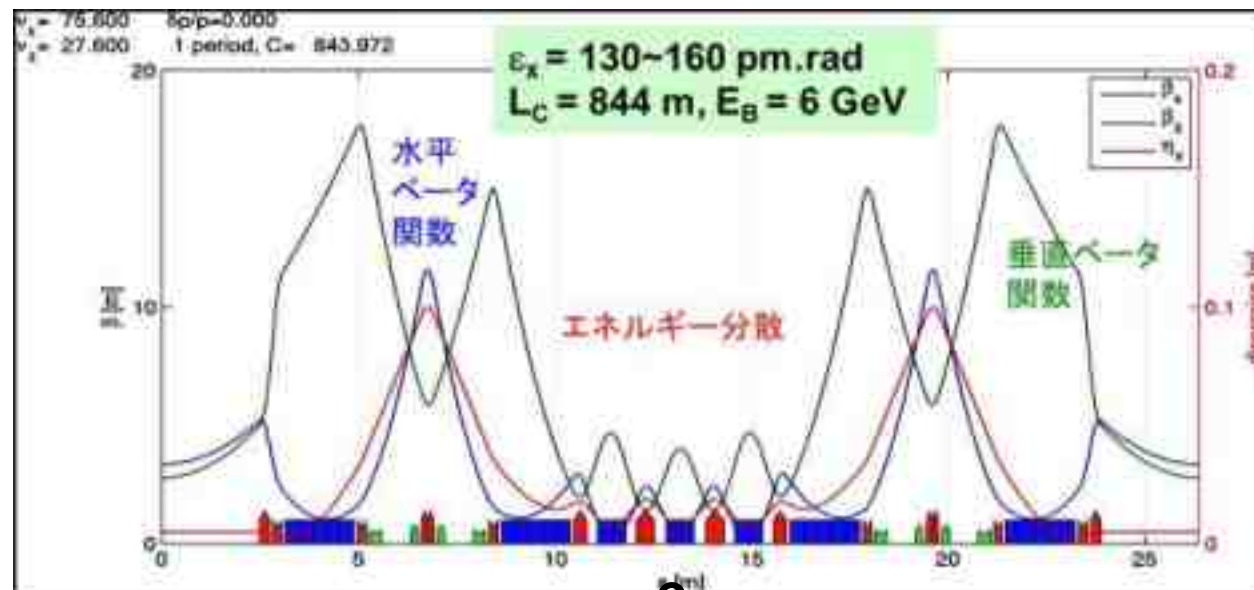
ESRFからのブレークスルー

2012年7月

—ハイブリッドマルチバンド(HMB)方式によるDLSRの概念構築—

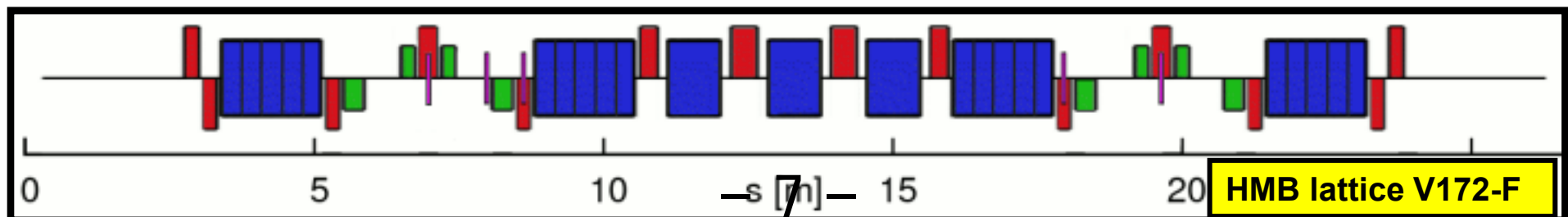
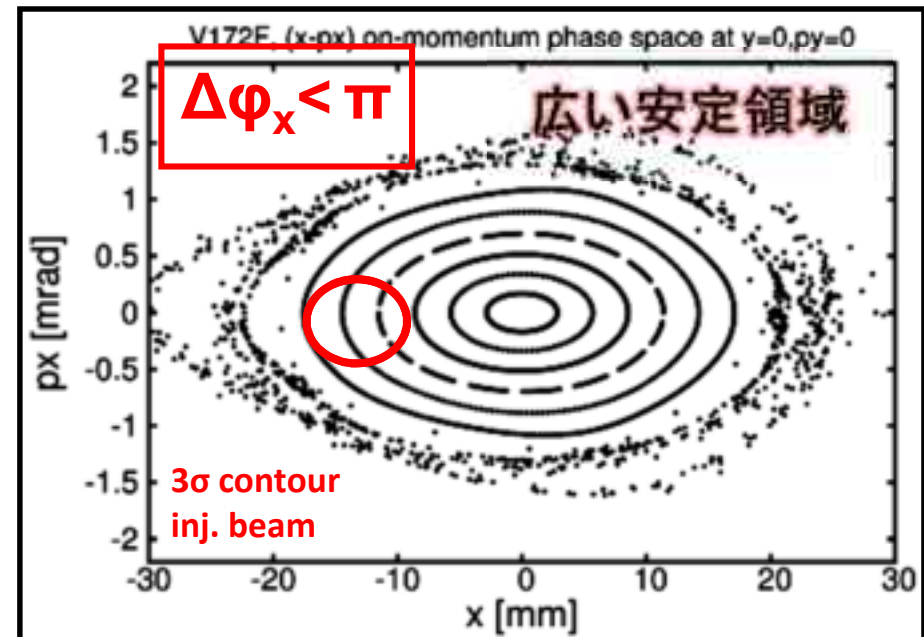
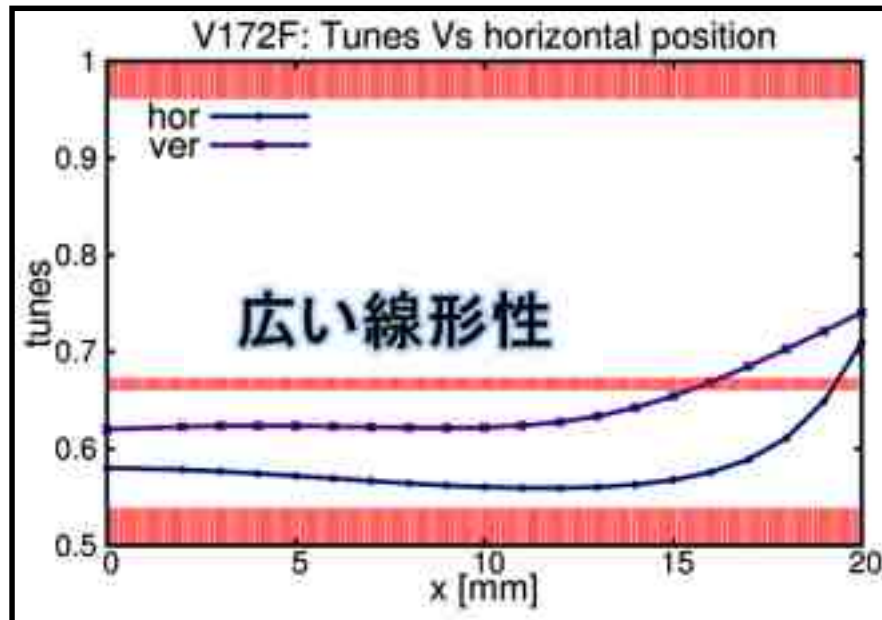
- (1) マルチバンド化の緩和 (実質 Triple Bend)
- (2) 6極電磁石の実効的磁場の低減 (位相差 π の6極ペア)
- (3) 第3世代放射光源の設計思想にない、新アイデアの導入
(非一様偏向磁場 + ダンピング分割数制御)

敢えてエネルギー分散の対称性を崩しピークを生成し
その部分に位相整合させた6極を重点的に配置



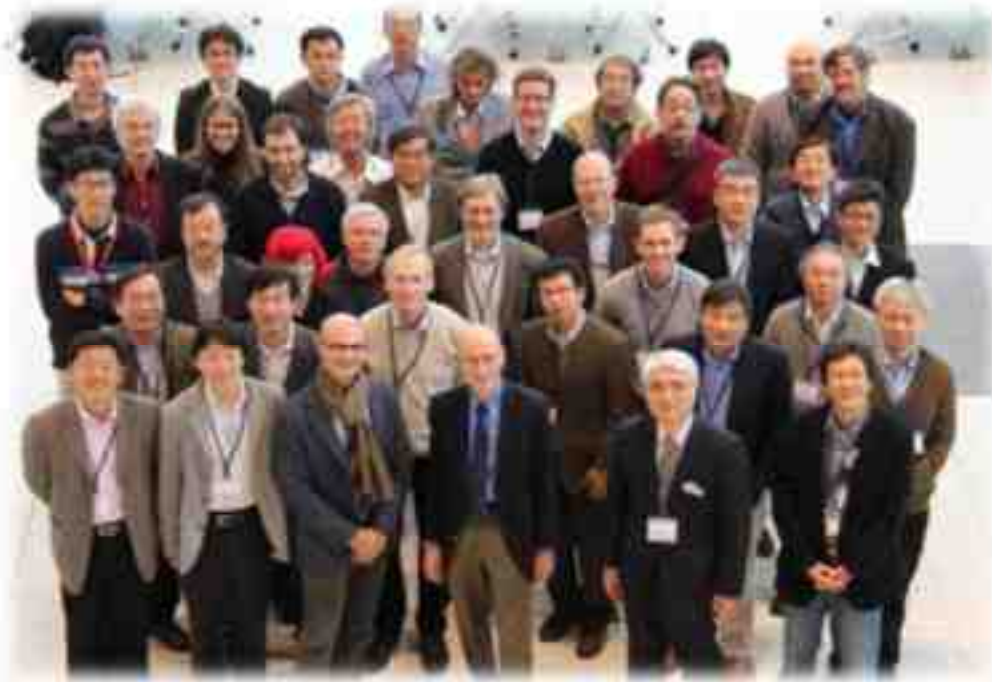
ESRF方式の利点

- (1) 広い安定領域:
電子ビームの長い寿命と安定な入射を可能に
- (2) 現実的な6極電磁石の強さ < 600T/m (現状120~200T/m)
- (3) ラティスの十分なスペースの確保



第2回DLSR国際ワークショップの開催

SACLA Auditorium, SPring-8
12月14日-15日 2012年

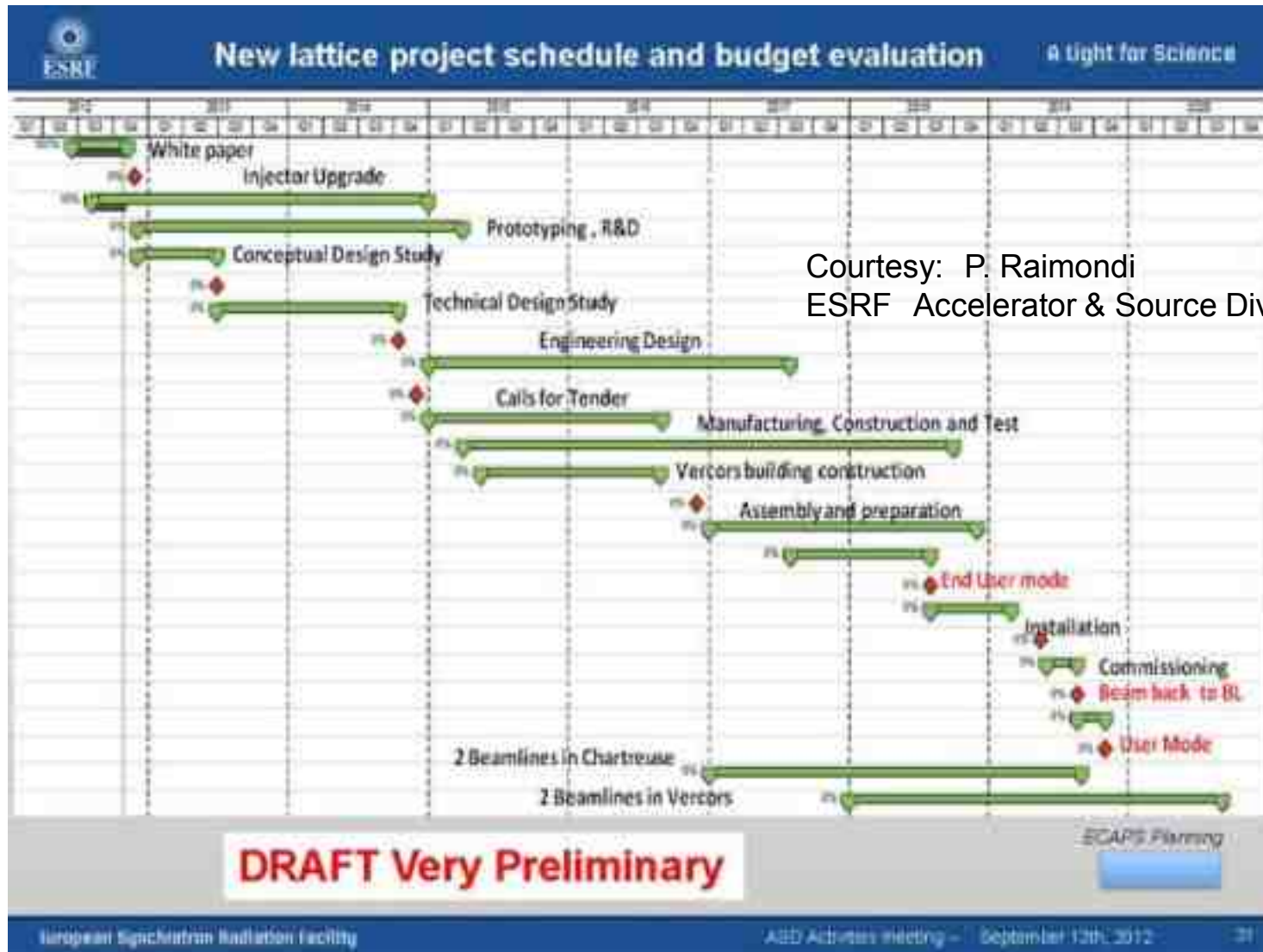


- 回折限界蓄積リング(DLSR)の優位
- 建設コストの低減、建設期間の短縮、
運転コストの低減が加速器のこれか
らの課題 (国際協力)
- 非破壊計測の重要性
- XFELとの組み合わせ

参加機関

APS(米国)、CHESS(米国)、DESY(ドイツ)、ESRF(フランス)、IHEP(中国)、NSRRC(台湾)、PF(日本)、
SLAC(米国)、SSRF(中国)、Technical University of Dresden(ドイツ)、University of California San
Diego(米国)、University of Liverpool(英国)、University of Tokyo(日本)、RIKEN SPring-8
Center(日本),

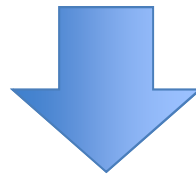
ESRFアップグレード計画が開始



ESRFは、約€100M(≒128億円)で2018年夏から1年かけてリングを改造する計画

SPring-8 II 計画とは

- **放射光利用の裾野を拡大**
現状では潜在ユーザーの半分程度が利用出来ない状況
(ライフ/マテリアル・サイエンスの先端研究は、均一系から、ランダム系・ハイブリッド系へ進化が加速)
- **国際的な研究開発競争の先端ツールとして**
放射光光源の有用性への認識が深まり、光源の高性能化への国際競争の激化にも対応が必要不可欠
- **SACLAとの相互利用の需要拡大に応える**
光源性能と先端性の整合による相互/相補活用を加速
先端科学技術及び先端産業活用における国際的優位性を確保



科学技術の進歩に応え
我が国独自の戦略的な光源をタイムリーに稼働させる

技術革新への基本戦略

2012年2月～ SPring-8II 独自のハイブリッドマルチベンド(HMB)
方式を開発

(1) マルチベンド化の緩和

ユニット構造を増やすだけでは電磁石の磁場強度の観点から非現実的
→ これを避けるビーム物理に基づく新たな解決法の提案

(2) 電子ビーム安定領域の確保

6極電磁石の非線形性を実効的に低減する課題を、電磁石設計とビーム物理の両面から検討

(3) 新たなエミッタンス低減策の導入

第3世代放射光源の設計に考慮されていないエミッタンス低減のプロセスを積極的に導入し、マルチベンド化を抑える

ソリューション: エミッタンスの低減

目標: 100 pm.radを下回るエミッタンスを現実的な電磁石パラメータとスペーシングで実現

エミッタンス低減化策

$$\varepsilon_{\text{min}} = C_q \frac{\gamma^2 \langle H/\rho^3 \rangle}{J_x \langle 1/\rho^2 \rangle}$$

1. ビーム進行方向に偏向電磁石磁場分布(ρ)を導入:放射によるエミッタンス増大の効果を最小化するようビーム進行方向に偏向磁場の分布を導入 (4極の収束をいれない) *R. Nagaoka et al., NIMA 575(2007)292*
2. アンジュレータの最適化による蓄積ビームエネルギーの低減(γ): 短周期高性能アンジュレータにより8 GeVを下回るビームエネルギーで必要なX線波長範囲をカバー($\lambda_u=32$ mm@8 GeV \sim $\lambda_u=18$ mm@6 GeV)
3. ダンピング分割数(J_x) 制御: 高周波RF電場を用いた新方式により、エミッタンスを最大約1/3へ *Y. Shimosaki et al., accepted by Phys. Rev. Lett.*
4. 放射減衰の促進: ダンピングウイグラーの機能を、アンジュレータの設計変更によって通常のアンジュレータに付与
5. 設計エミッタンスを最小値に近づける($\varepsilon_{\text{design}} / \varepsilon_{\text{min}} < 3$): これまでの設計検討で培ったオプティクス設計技法を最大限活用し最適化精度を高める

ソリューション: 安定領域の確保

目標: 第3世代放射光源と同レベルの動的安定性の確保と誤差に対する感度の達成

安定領域の確保

必要悪の非線形性をただ抑制する → 発生元を積極的に抑えるへ

1. 6極(非線形)の局在化によるクロマティシティの低減: 4極電磁石の強さをベータatron関数を小さくすることでカバーできるオプティックス(一部既にESRFにて実施)
2. 6極電磁石の根本的な設計見直し: 磁場中心近傍のみ6極磁場を発生するような新しい電磁石の開発
3. 6極電磁石の非線形性の抑制: 位相整合条件を満たした6極ペアのみを組み合わせる事でクロマティシティ補正を実施(コライダーで利用されている技法の導入であり、ESRFにて実施)
4. 8極電磁石の有効利用: 6極から発生する高次の非線形性を弱い8極で補正する新しいスキーム(一部既にESRFにて実施)

SPring-8 II の設計目標

基準は7 nm.rad

Item	Dependence	Value (Old→New)	Reduction Gain
Beam Energy γ	γ^2	8 GeV → 6 GeV	1.8
Bend angle θ	θ^3	2BA → 3BA 2BA → 4BA	8.0 27.0
Dipole field optimization	$\langle H / \rho^3 \rangle / \langle 1 / \rho^2 \rangle$		~2.0
Damping enhancement	Damping by ID, D.W.		1.4
Damping partition number control	$1 / J_x$	$J_x = 1 \rightarrow J_x = 2$	2.0
Optics optimization	$\varepsilon_{\text{design}} / \varepsilon_{\text{min}}$	~3 → ~2.5?	1.2
Total			78 pm.rad ~ 23 pm.rad 90(3BA) ~ 300(4BA)

スケジュールと予算



SPring-8 IIがSACLAと広げる利活用

- (1) SPring-8 II+SACLAにより、原子・電子のレベルの速い変化と系全体のマクロな現象を繋ぎ合わせることが可能
- (2) SPring-8 IIの入射器としても、SACLAを利用可能

