

March 1, 2005

Core-University Seminar

@KEK, Tsukuba

Present and Future of Compact SR Ring **HiSOR**

Hiroshima Synchrotron Radiation Center
Hiroshima University
Toshitada Hori, Hiroshi Tsutsui, Kiminori Goto

Contents

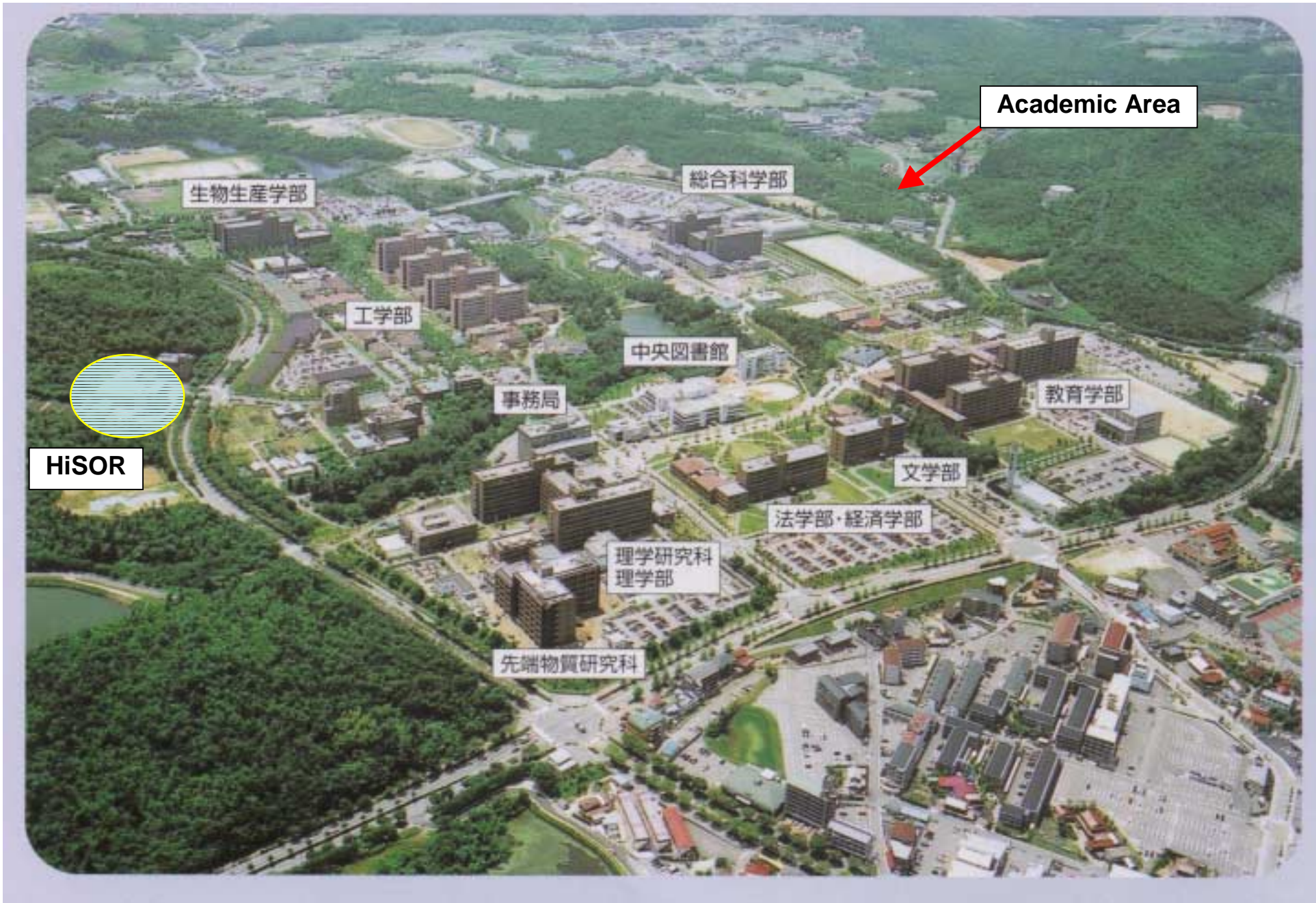


1. Introduction
2. Present Status
3. Recent Progress
4. Future Plan

This is the Last Talk here, but the First Talk also ...

Sorry, neither single bunch nor ultra short bunch related topics.

* I am here, because Hiroshima Univ. is one of Core-University.



Academic Area

生物生産学部

総合科学部

工学部

中央図書館

事務局

教育学部

文学部

法学部・経済学部

理学研究科
理学部

先端物質研究科



HiSOR

Purpose:

Promote SR research activities in materials science, especially in Solid State Physics, and education in the related fields simultaneously

1996 Hiroshima Synchrotron Radiation Center

Established in Hiroshima Univ.

As an education & research center in the univ.

- unique SR facility in national univ. -

Start @100mA stored current (incomplete rad. Shield)

Increased current up to 200mA (2000~)

2002 Approved as National Facility

Increased current up to 350mA (2003~)

Elongated user time from (10:00~18:00) to (9:30~20:00) (2004~)

2004

国立大学附置研究所・センター長会議

全国の国立大学におかれた附置研究所および研究センターの所長・センター長が相互に緊密な協力を行うことにより我が国の学術研究の振興を図ることを目的とした組織です。

現在、26の国立大学で58の附置研究所、20の研究センターがこの組織に加わっており……



広島大学放射光科学研究センター

Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University

センターの概要

広島大学放射光科学研究センター (HSOR) は、真空紫外・軟X線域での放射光利用研究と人材の育成を目的に平成8年に設置されました。平成14年には全国共同利用施設として新設され、全国の研究者に開かれた施設となりました。センターは次のような特徴をもちます。

- ・教育・研究の現場に設置された放射光施設として多くの若手研究者・技術者を育成
 - ・紫外線・軟X線を活用する施設
 - ・固体物理学を中心とする物質科学ならびに生命科学の基礎研究を推進
 - ・小型放射光源および基の挿入光源から成る機動性に優れた放射光設備
 - ・ナノサイエンスに適した in situ 実験を可能とする研究システム
- ※ HSOR (Hiroshima Synchrotron Orbital Radiation) はセンターのニックネームです。

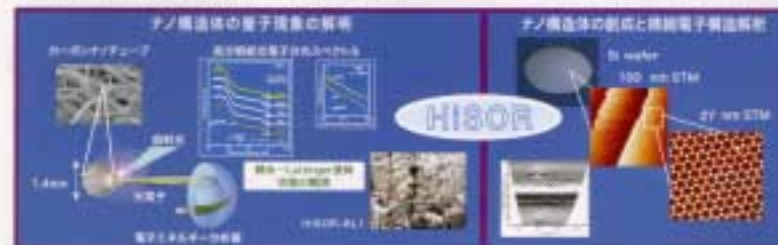
研究内容・特色

- ・物質科学研究
固体表面・界面および内部のスピン電子構造の解析、ナノ構造物質の創製と電子構造解析、光化学反応
- ・生命科学研究
紫外線による「生きた状態」の生体物質の立体構造解析



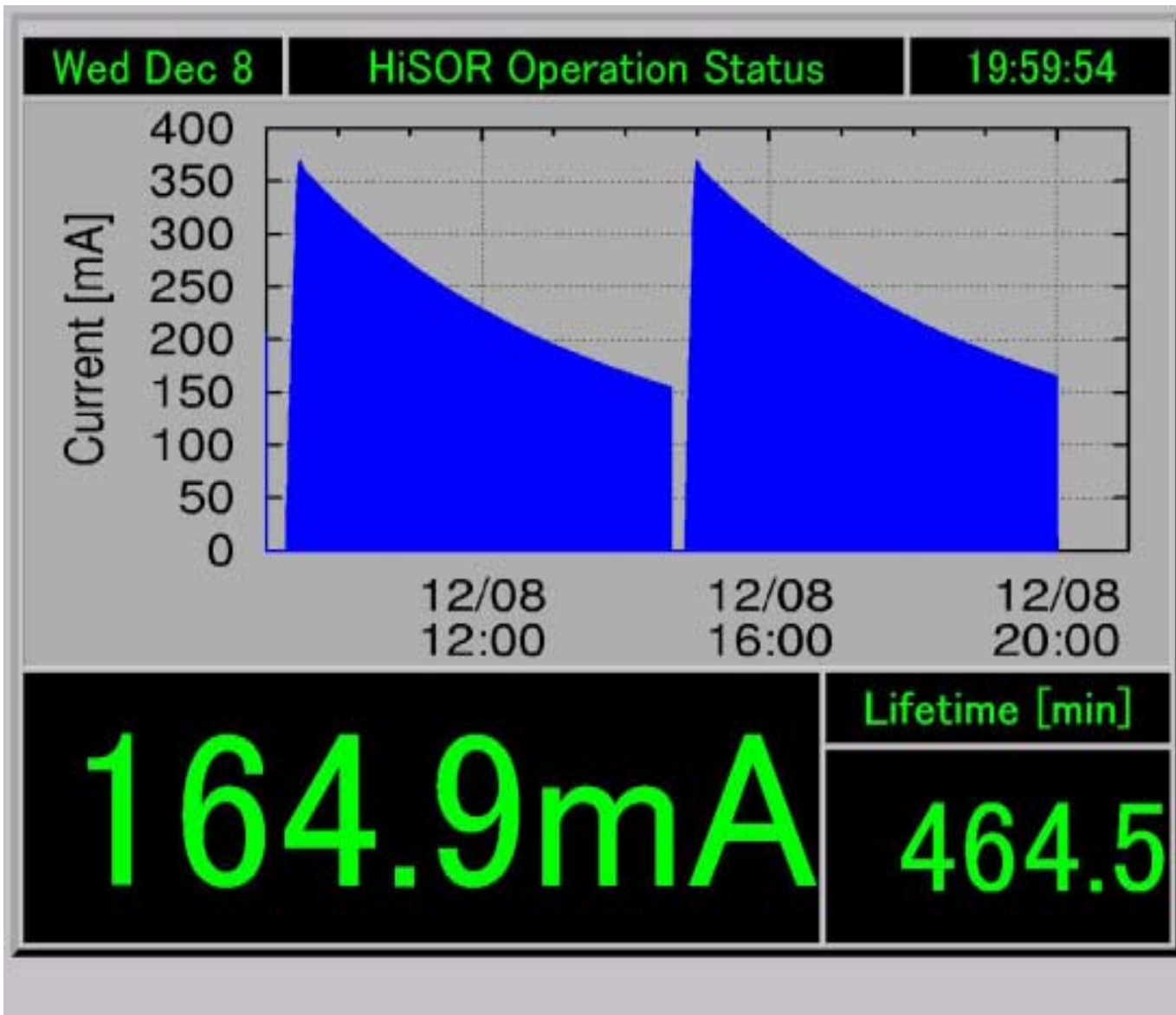
最近の成果

- ・ナノ構造体（カーボンナノチューブ）の量子現象の解明
カーボンナノチューブ中の電子が液体-ラッティンジャー液体状態であることを解明しました (Nature 026/2001)。
- ・ナノ構造体の創成と放射光による微細電子構造解析
量子ドットアレイを創成し電子構造解析を解明しました。



経緯 (Recent Progress)

- 1996年 広島大学放射光科学研究センター設立
学内共同教育研究施設として発足
— 国立大学に唯一の軟X線小型放射光源 —
蓄積電流 100 mAで認可申請(放射線対策上)
蓄積電流 200 mAに増加申請(2000年)
- 2002年 全国共同利用施設となる(広島方式の運用)
蓄積電流 350 mAに再増強申請(2003年認可)
利用時間を(10~18時)から(9時半~20時)に延長(2004年)
- **2003 Renewal of Control System (2002~)**
Support of Spring-8 Control people appreciated
New RF Cavity Installed, together with Randau Cavity
- **2004 Need RF Amplifier reinforcement**
Start 350 mA Operation
Extend Ope. hours from 18:00 → 20:00 (Oct.~)

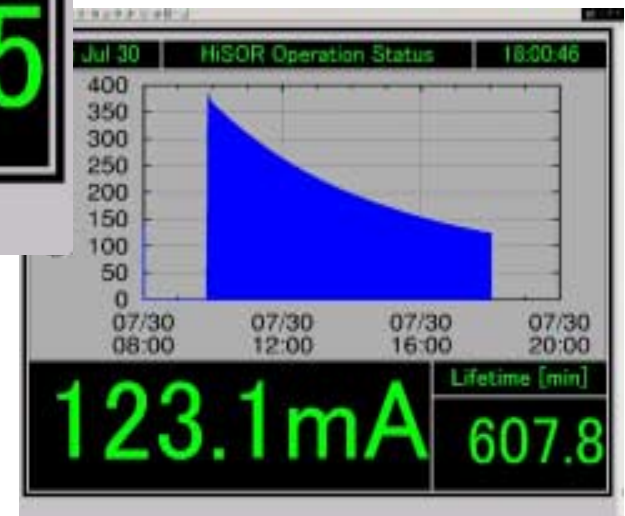


Dec. 8 (Wed.), 2004

Ope. 18:00 → 20:00,
2 more hours

Increased user time
~ **2 hours**

July 30 (Fri.), 2004





広島大学放射光科学研究センター Hiroshima Synchrotron Radiation Center

センターの概要

広島大学放射光科学研究センター(HiSOR)は、真空紫外・軟X線域での放射光利用研究と人材の育成を目的に平成8年に設置されました。平成14年には全国共同利用施設として新設され全国の研究者に開かれた施設となりました。センターは次のような特徴をもっています。 **教育・研究の現場に設置された放射光施設として多くの若手研究者・技術者を育成。** **紫外線～軟X線を活用する施設。** **固体物理学を中心とする物質科学並びに生命科学の基礎研究を推進。** **小型放射光源および2基の挿入光源から成る機動性に優れた放射光設備。** **ナノサイエンスに適したin situ実験を可能とする研究システム。**

研究内容・特色

物質科学研究：固体表面・界面および内部のスピン電子構造の解析，ナノ構造物質の創製と電子構造解析，光化学反応

生命科学研究：紫外線による「生きた状態」の生体物質の立体構造解析



最近の成果

ナノ構造体（カーボンナノチューブ）の量子現象の解明

カーボンナノチューブ中の電子が朝永-ラッティンジャー液体状態であることを示すデータを得ることに成功しました (Nature426(2003))。

ナノ構造体の創成と放射光による微細電子構造解析

量子ドットアレイを創成し、電子構造解析を解析しました。

センターのデータ

教員数 8人（内、外国人教員（客員III種）1人）

講師（研究機関研究員）5人（内、外国人研究員 2人）

客員教授・助教授（I種、II種）3人

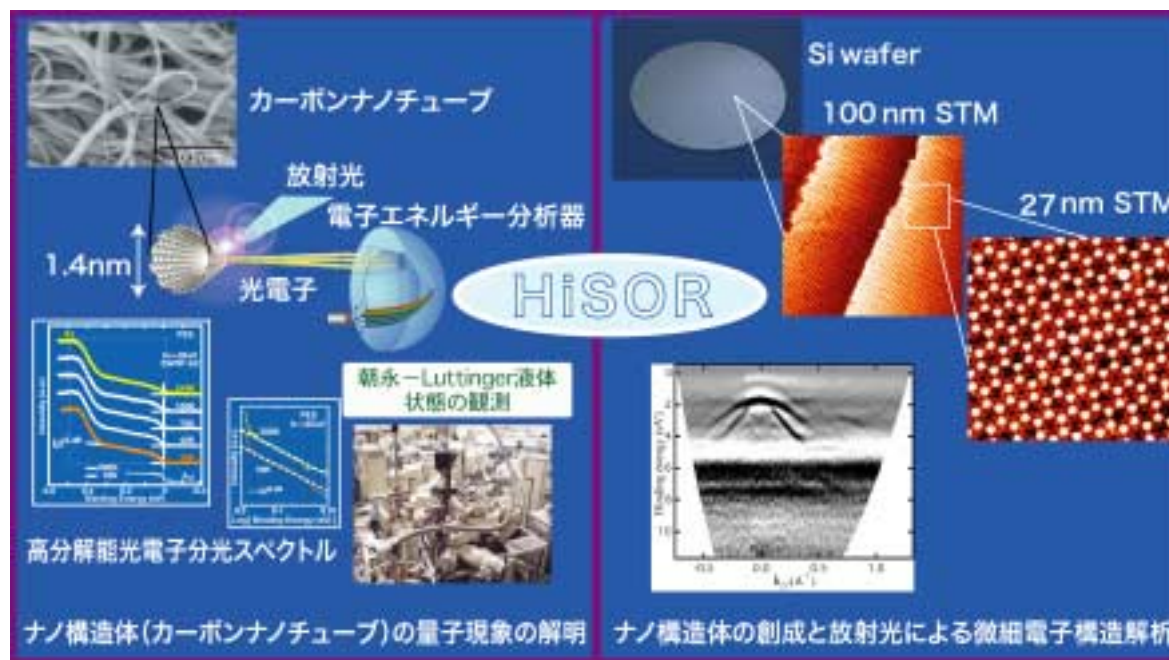
センター研究員 42人

技術職員 2人

研究支援推進員 1人

事務職員 2人

学生数（M）28人、（D）12人



運営交付金 314,025,000円



Nature誌2003年1月2月4日号

金属カーボンナノチューブに1次元伝導性を確認
極低温で絶縁体に!

Direct observation of Tomonaga-Luttinger-liquid state
in carbon nanotubes at low temperatures

(カーボンナノチューブにおける極低温での朝永-ラッティンジャー液体状態の直接観測)

H. Ichi, H. Kataura, H. Shiozawa, H. Otsubo, Y. Takayama, T. Miyahara, S. Suzuki, Y. Achiba, H. Yoshioka, M. Nakatake, T. Narimura, M. Higashiguchi, K. Shimada, H. Namatame and M. Taniguchi

放射光を利用した光電子分光実験によって、単層カーボンナノチューブにおいて朝永-ラッティンジャー液体状態と呼ばれる特別な状態が実現していることを発見した。ノーベル物理学賞を受賞した朝永一郎氏の53年前の理論を、電子状態の直接観測によって検証したことになる。単層カーボンナノチューブは筒型の2次元構造をしているが、そこを流れる電子は「太さ」を持たず、「長さ」だけを持つ理想的1次元流体であることを示す結果である。単層カーボンナノチューブの1次元金属としての本質的な性質が明らかになったことから、単電子トランジスタなどナノデバイスへの応用や高温超伝導メカニズムの解明に役立つことが期待される。

朝日新聞2003.12.9夕刊

「1次元金属は導電性異なる」
日本科学界に
朝永一郎氏の
理論が証明された。

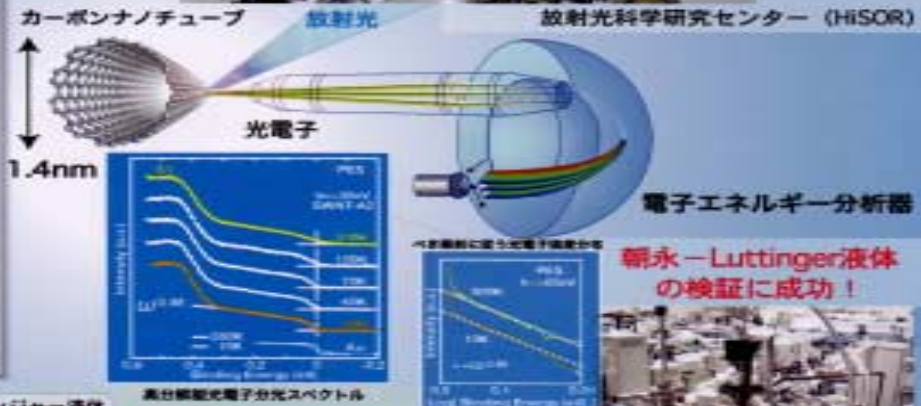
「朝永予言」
53年後確認

カーボンナノチューブを分析

朝立大・広島大など



放射光科学研究センター (HiSOR)



朝永-Luttinger液体
の検証に成功!



高分解能低温光電子分光ビームライン (HiSOR-BL1)

朝永-ラッティンジャー液体

1950年、朝永一郎氏は1次元金属の性質を説明するために、既存のフェルミ液体論(金や銅などの3次元金属の性質を説明する理論)とは全く異なる新しい概念をもつ理論を発表した。朝永-ラッティンジャー液体状態は、物理的性質に現れるべき的異常(X ρ の関数形)によって特徴付けられているが、1次元という空想の世界は実現しないために、非現実的で数值的な状態にすぎないと見られていた。

高温超伝導体、有機超伝導体、準1次元化合物の発見や超微細加工技術による量子線等の開発を契機に、最近では、低次元系の多彩な物理的異型例として1次元系の物理が注目されている。

広島大学放射光科学研究センター

Preparation Room

実験準備棟

Exp. Hall (24x30m²)

放射光実験ホール

Injector & other

入射器室



Empty Space

Staff Room

Lab.

研究棟

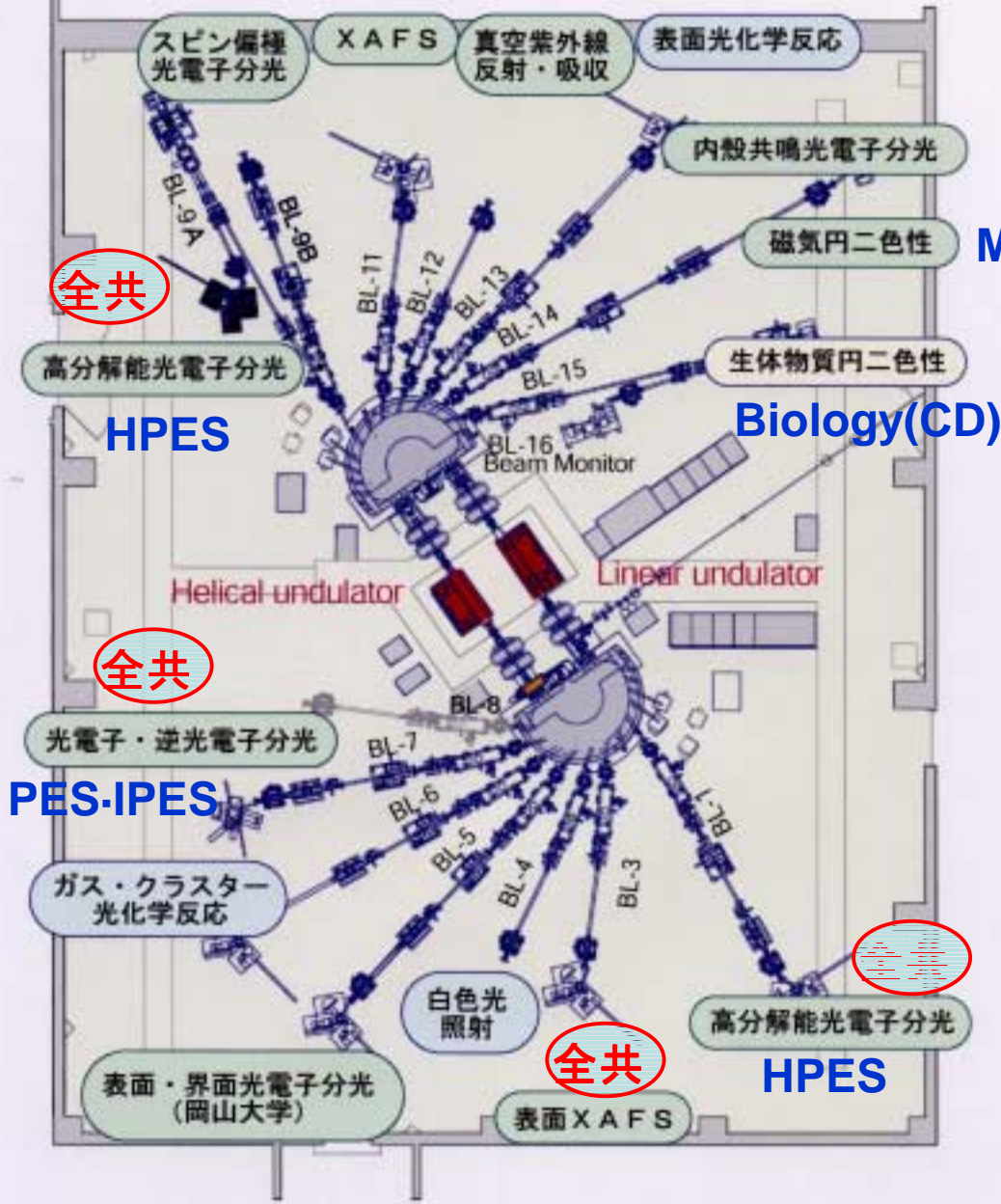


HiSOR Experimental Hall

Not so small emittance ($0.4\pi \mu\text{m}\cdot\text{rad}$) because of compact ring. Well matched beamlines for such the source, however, and realized high resolution ($\sim\text{meV}$) photo emission spectroscopy in soft X-ray region.

(now trying below 1meV resolution)

Spin-polarized



HiSOR Exp. Hall (July 2004)



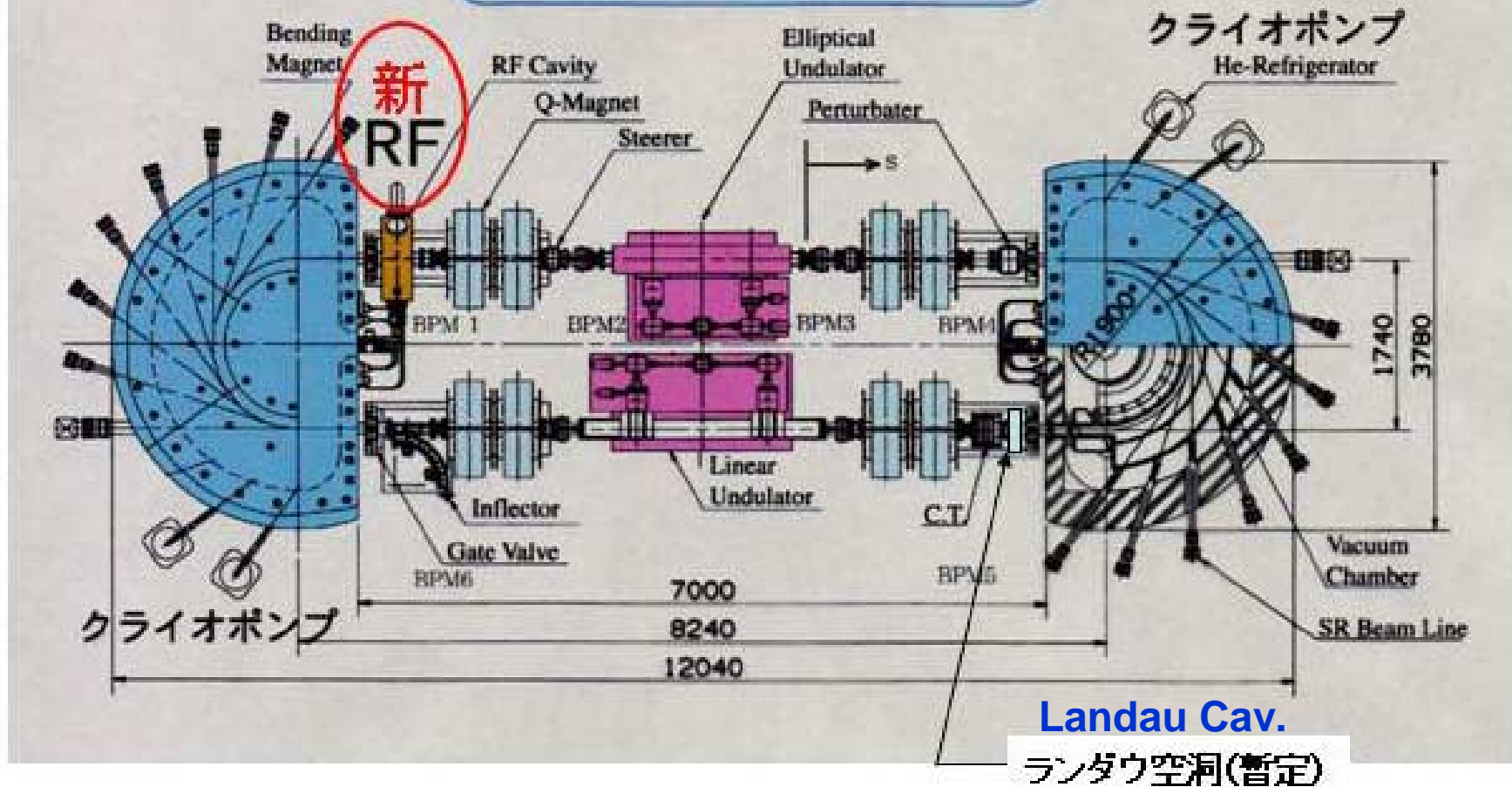
MCD

その性能が広く認知され、設立後6年を経過した2002年4月より、学内共同教育研究施設から全国共同利用施設へ衣替えして、学内のみならず全国の軟X線ユーザーの共用施設となった。

近年は、中国・米国・韓国・ドイツなど海外の研究者との共同研究も進展しつつある。一大学に設置された小型の全国共同利用施設としての特徴を生かし、HiSORでは広島方式と称するフレキシブルな運用を行っている。

H15年10月～

放射光源の現状



HiSOR is a racetrack type ring having two 180° bending magnets. There are two undulators (Linear & Helical) in the straight sections. Originally designed for industrial use, it is compact and low price. Most outstanding characteristics lies in normal conducting high field (2.7Tesla) magnets.

Type	Racetrack Synchrotron	
Injector	Racetrack Microtron	
Beam Energy at Injection	150 MeV	
at Storage	700 MeV	
Magnetic Field at Injection	0.6 T	
at Storage	2.7 T	
Magnet Pole Gap	42 mm	
Bending Radius	0.87 m	
Circumference	21.95 m	
Betatron Tune	Horizontal	1.72
	Vertical	1.84
RF Frequency	191.244 MHz	
Harmonic Number	14	
RF Voltage	220 kV	
Stored Current(Normal)	<u>300 mA</u>	
Beam Filling Time	5 Minutes	
Beam Lifetime(at 200 mA)	>8 Hours	
Beam Emittance	<u>0.4 π mm \cdot mr</u>	
Critical Wave Length	<u>1.42 nm</u> (0.87 keV)	
Photon Intensity(5 keV)	1.2 $\times 10^{11}$ /sec/mr ² /0.1%B.W./300 mA	
Photon Beam Ports at Bend. Sec.	7 \times 2 with 18 $^\circ$ Interval	
at Straight Sec.	2	
Angular Width of Beam Port	20 mr	
Ring Dimensions	Width	3.1 m
	Length	12 m
	Height	1.8 m
Beam Level	1.2 m	
Total Weight	130 Ton.	

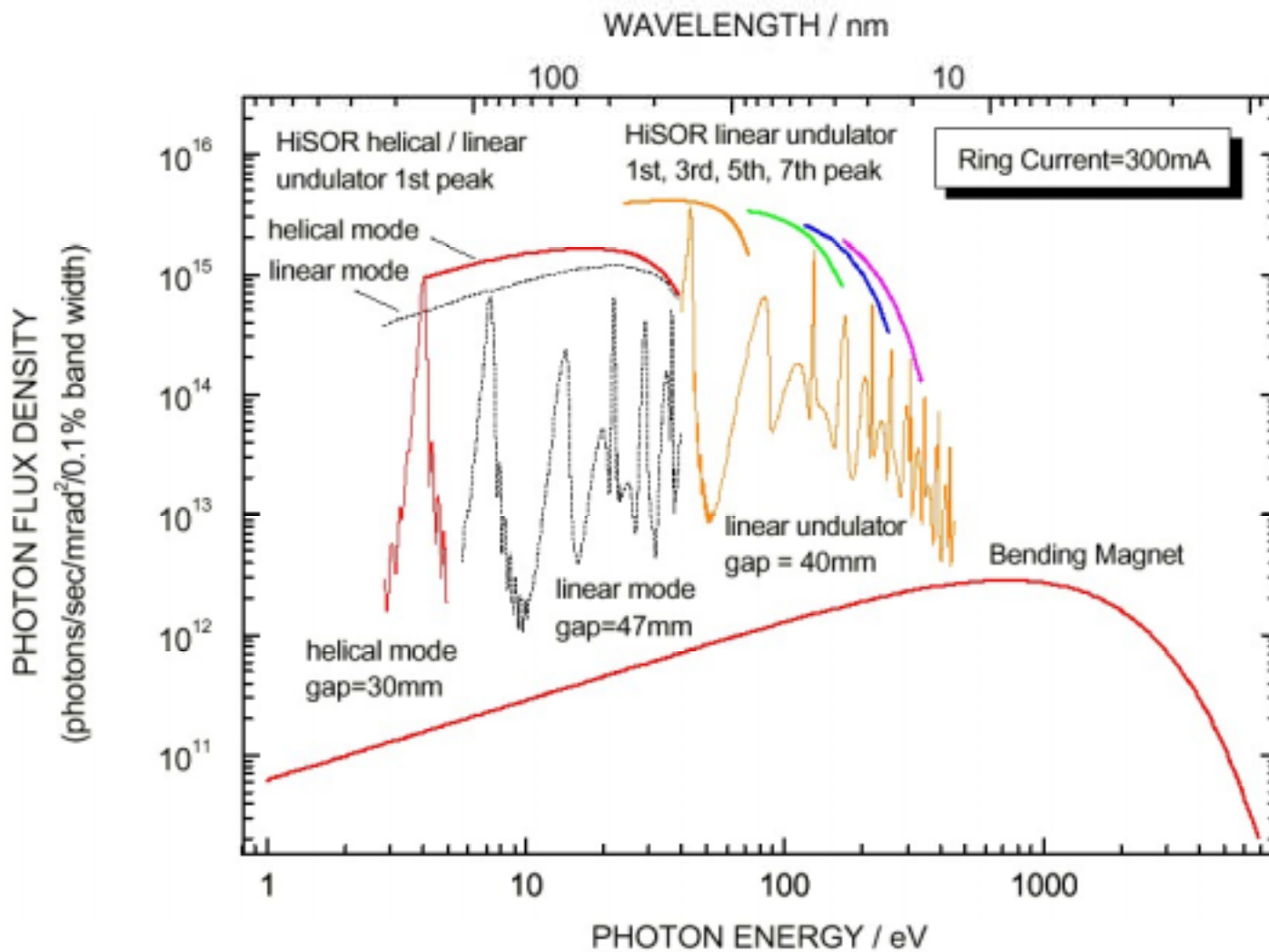
**World's smallest ring
with undulators**

Unieque device:

**Normal conducting high
field magnets**

Motivation of HiSOR- II

Specifications of HiSOR



Spectra of HiSOR (from Bending & Undulators)

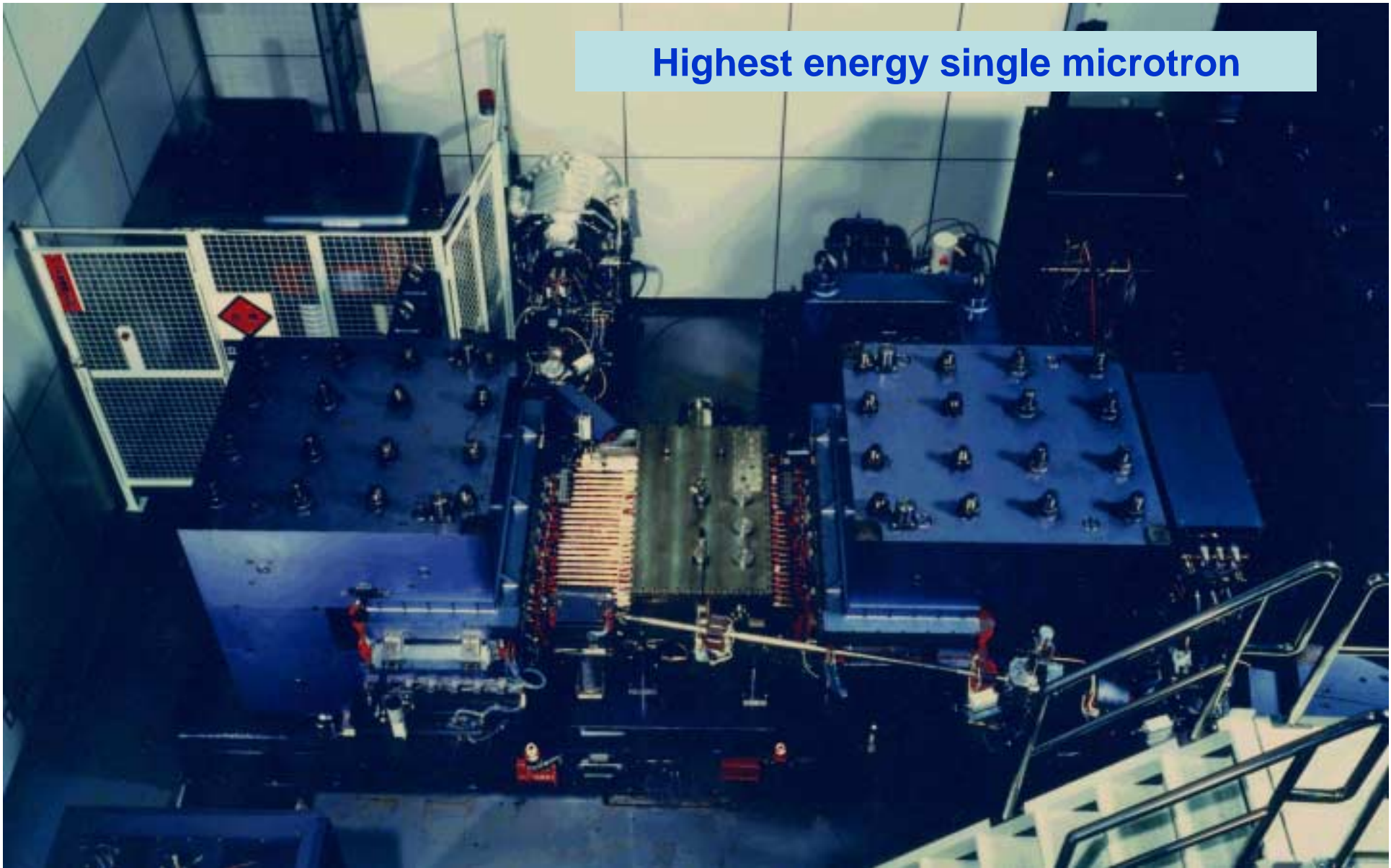
Linear



Helical

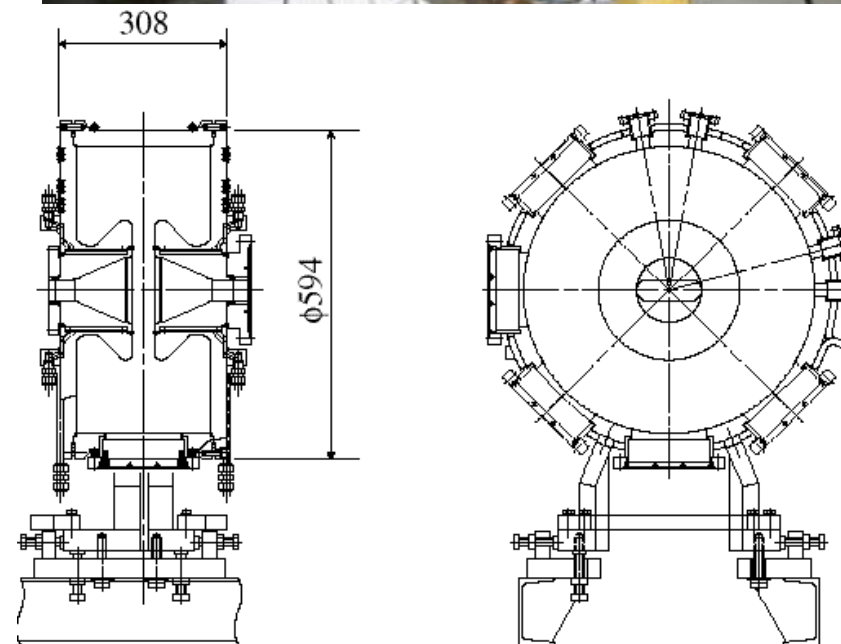
**World's smallest ring
having undulators**

Highest energy single microtron



**150MeV Microtron (No.1, @SHI-Tanashi)
Almost same spec. as HiSOR injector**

**New cavity installed
in autumn 2003**

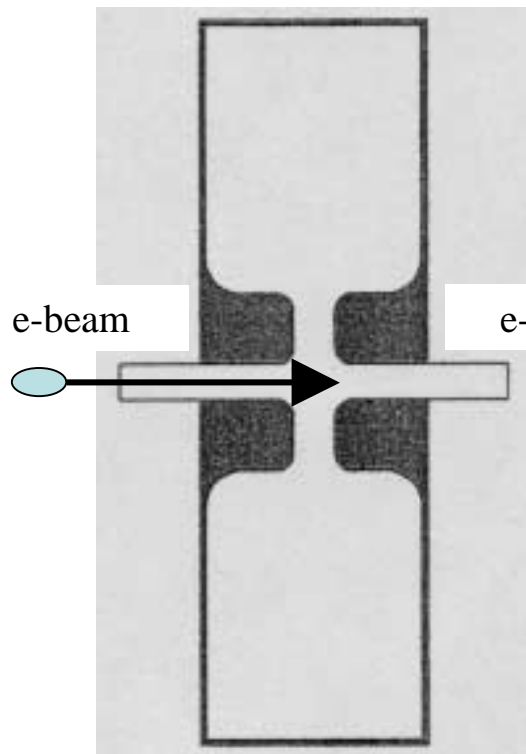


**Fig. up) Low level testing
Down) Cross section ($\phi 600 \times L300$)**

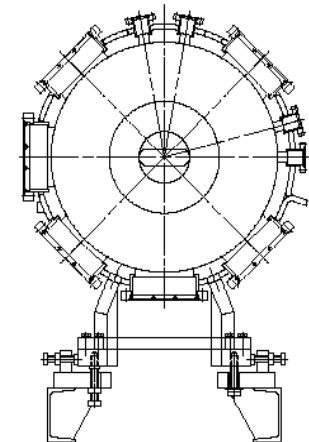
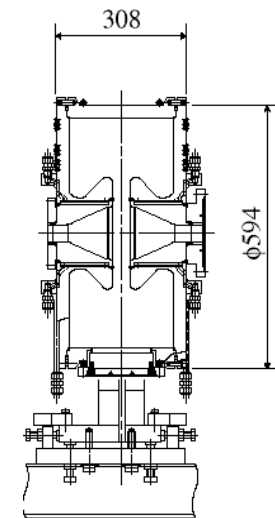
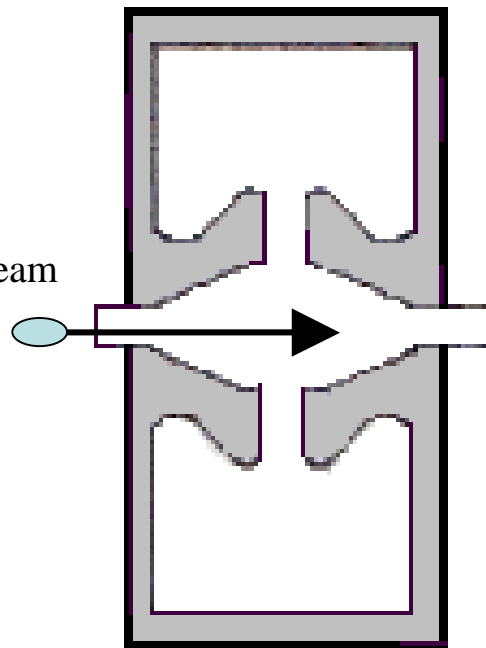
RF Cavity – what changed?

* Tried to reduce higher order harmonics...as low as possible
on the sacrifice of Q-value.

Old one



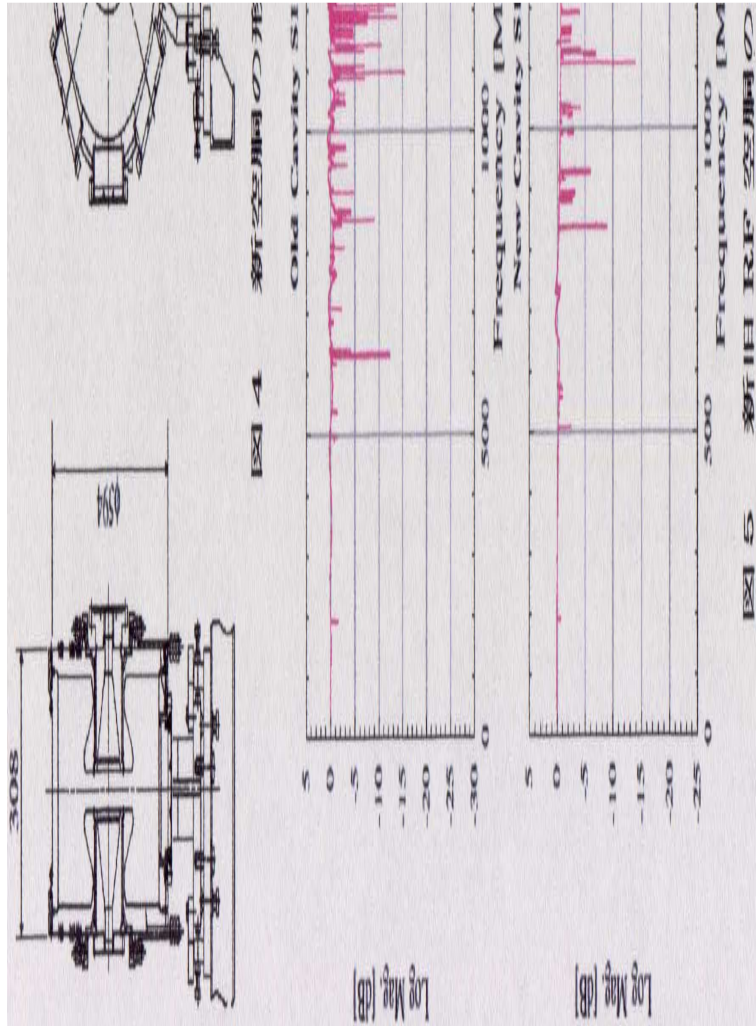
New one



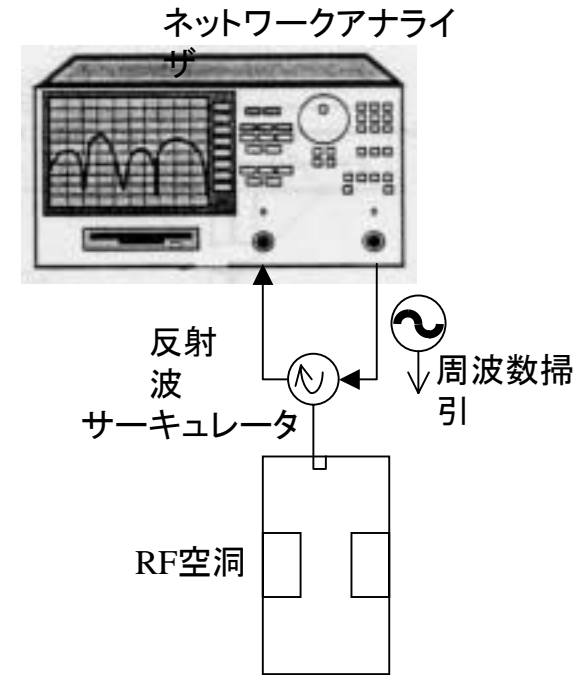
Cross Sectin of New One

RF Characteristics of New & Old

Old

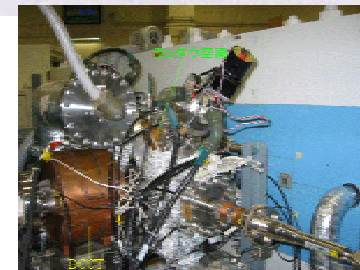
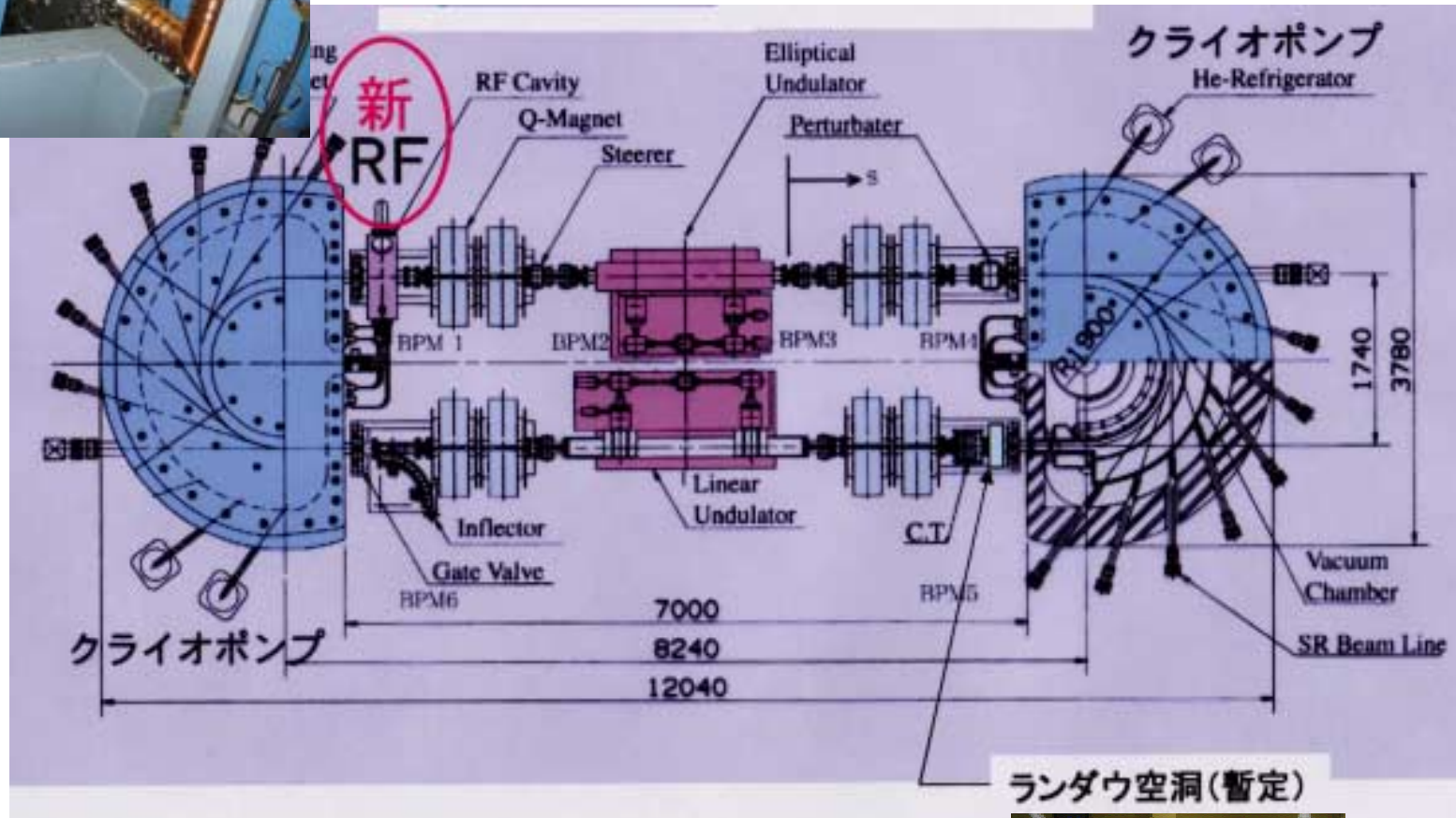


New



Nose cone changed to reduce HOM

装置の設置場所



**Landau Cavity
(Sept. 2003)**

3rd Harmonics

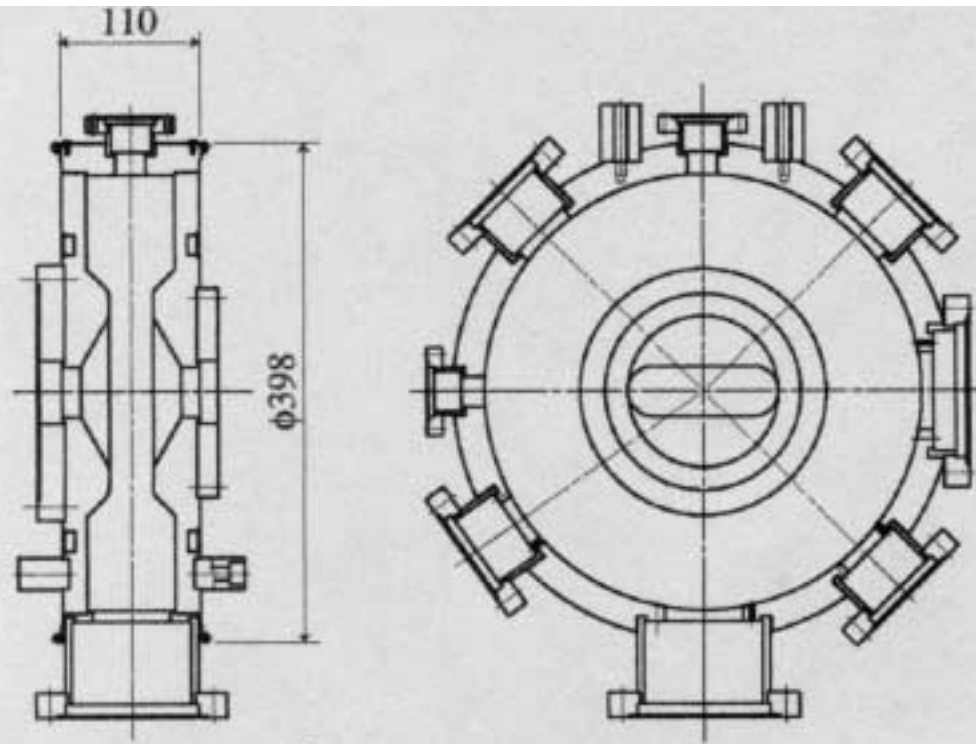
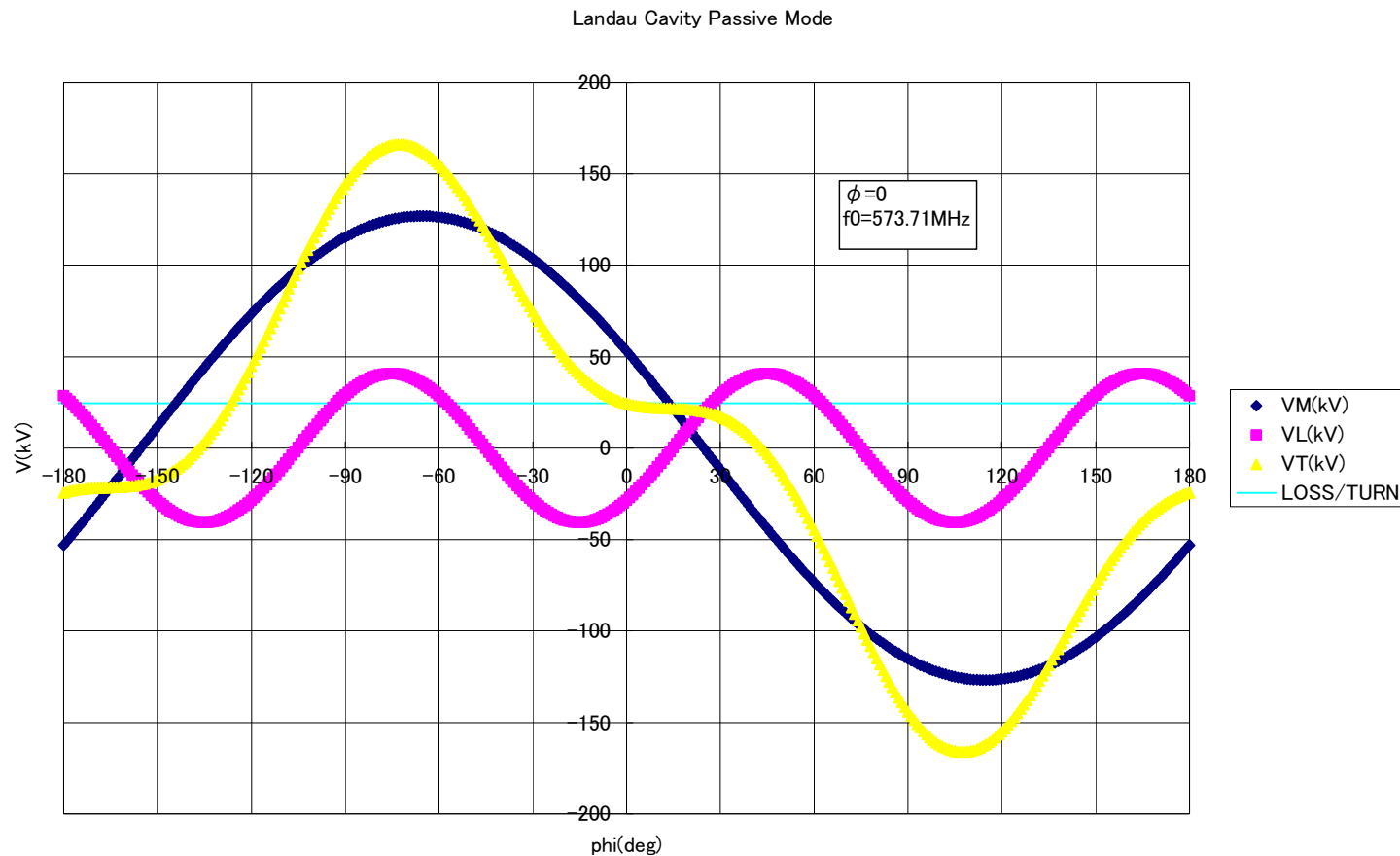


Fig. 6 Schematic view of Landau cavity

Table 3
PARAMETERS OF LANDAU CAVITY

CAVITY LENGTH	L	8.0	cm
CAVITY DIAMETER	D	34.8	cm
GAP LENGTH	g	3.5	cm
RF FREQUENCY	f_{rf}	573.732	MHz
RF VOLTAGE	V_{max}	53.3	kV
UNLOADED Q(@80%Q)	Q_0	13180	
WALL LOSS(@80%Q)	P	2.2	kW
SHUNT IMPEDANCE	R_{sh}	1.157	Mohm
TRANSIT TIME FACTOR	TTF	0.93897	

Advantage of Landau Cavity



**Voltage superimposing of fundamental & higher harmonic
to control bunch length**

SR Course User Operation Panel

File Tool Resource Help

12:11:35 Nov/17/2003

Course	Status	Operation
SR	Selected	On
ER	Not Ready	Off
BD	Not Ready	Off

Sequence Name	Status	Fail Status	Operation
Injection	ok		Start Stop Abort
Recol.	ok		Start Abort

Name	Ready/Local	Status	Operation
Tuning	Ready	Ready	On Off
Modulator HV	Ready	Ready	On Off Reset
RH RF Linac PWR	Ready	Ready	
RH RF Buncher PWR	Ready	Ready	
RH RF Buncher PHS	Ready	Ready	

Name	Preset	Current	Operation
Inflator	363.17 V	0.00 A	Start Stop
Perturbator	2.120 kV	0.000 A	Start Stop

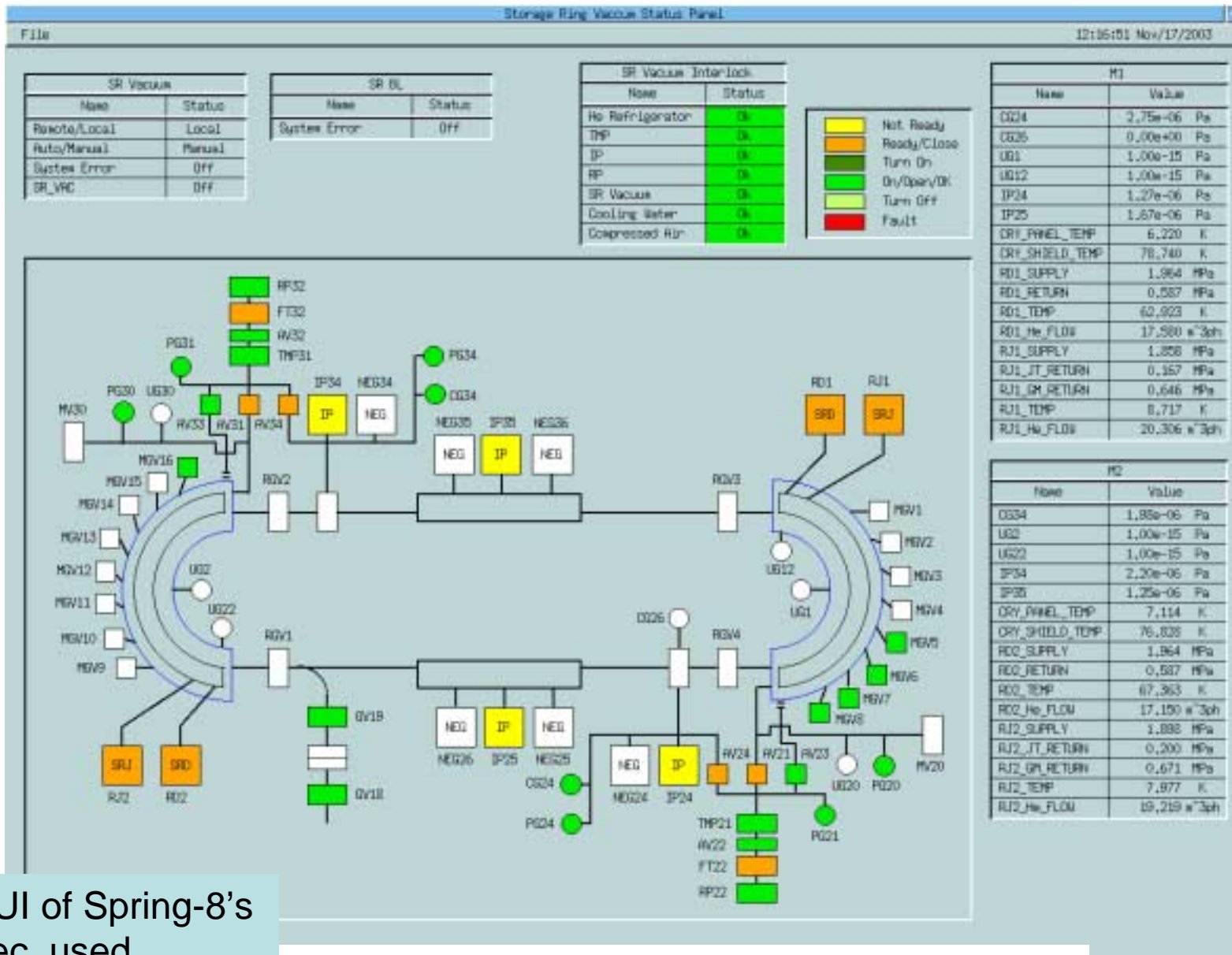
Name	Preset	Set Value	Operation
PMR Filter	8 step	10 step	Set
Video Selector	14 ch	14 ch	Set

Name	Preset	ADC	Operation	Fire Value	Fire Time
II W/P	69.75 V	33.56 V	Set	0.09 V	- +
IC W/P	-65.00 V	-1489.94 V	Set	0.09 V	- +
RF Linac level	300 μs		Set	1 μs	- +
Injection Gun Grid	99.990 V		Set	0.004 V	- +
RH RF Linac PWR	214.9 ohm	335.5 ohm	On Off Set	0.2 ohm	- +
RH RF Buncher PWR	441.8 ohm	441.0 ohm	On Off Set	0.2 ohm	- +
RH RF Phase PHS	609.8 ohm	630.5 ohm	On Off Set	0.2 ohm	- +

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DOSE</td> <td>779.323 mW</td> </tr> <tr> <td>SR CT</td> <td>198.46 m</td> </tr> <tr> <td>LIFE</td> <td>103.707 min</td> </tr> <tr> <td>DJL RATE</td> <td>0.000 m/s</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Magnetic Field Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Main 1</td> <td>2.6670 T</td> </tr> <tr> <td>Main 2</td> <td>0.0009 T</td> </tr> </tbody> </table>	Name	Value	DOSE	779.323 mW	SR CT	198.46 m	LIFE	103.707 min	DJL RATE	0.000 m/s	Magnetic Field Value		Main 1	2.6670 T	Main 2	0.0009 T	<div style="text-align: center;"> <input type="button" value="Tuning"/> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: yellow;">Not Ready</td> </tr> <tr> <td style="background-color: orange;">Ready</td> </tr> <tr> <td style="background-color: green;">On/Off</td> </tr> <tr> <td style="background-color: red;">Fault</td> </tr> </table> </div>	Not Ready	Ready	On/Off	Fault
Name	Value																					
DOSE	779.323 mW																					
SR CT	198.46 m																					
LIFE	103.707 min																					
DJL RATE	0.000 m/s																					
Magnetic Field Value																						
Main 1	2.6670 T																					
Main 2	0.0009 T																					
Not Ready																						
Ready																						
On/Off																						
Fault																						

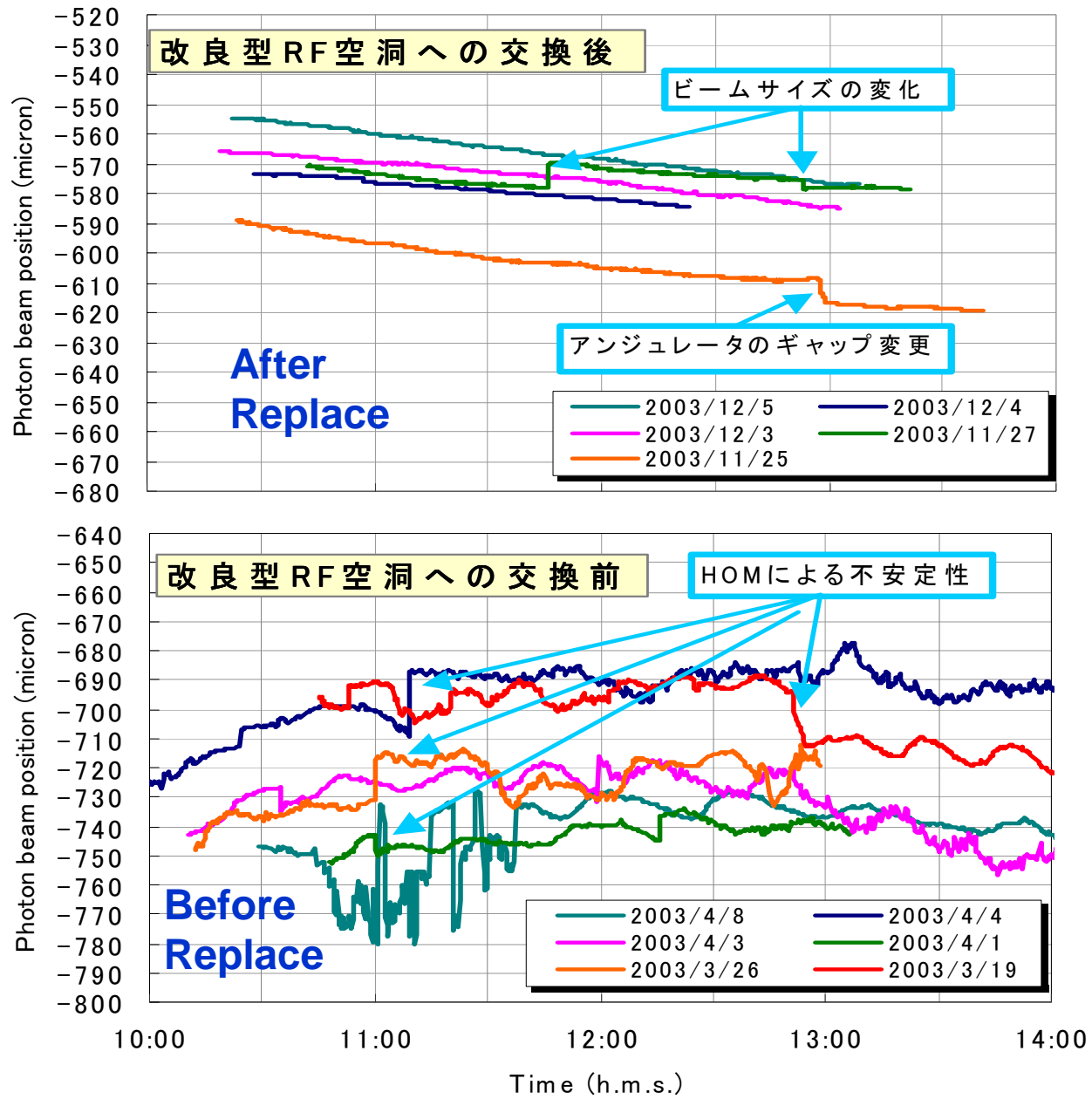
*Contribution of Spring-8 control staff highly appreciated

New Control System (Top Screen) while on



*GUI of Spring-8's spec. used

New Control System vacuum status

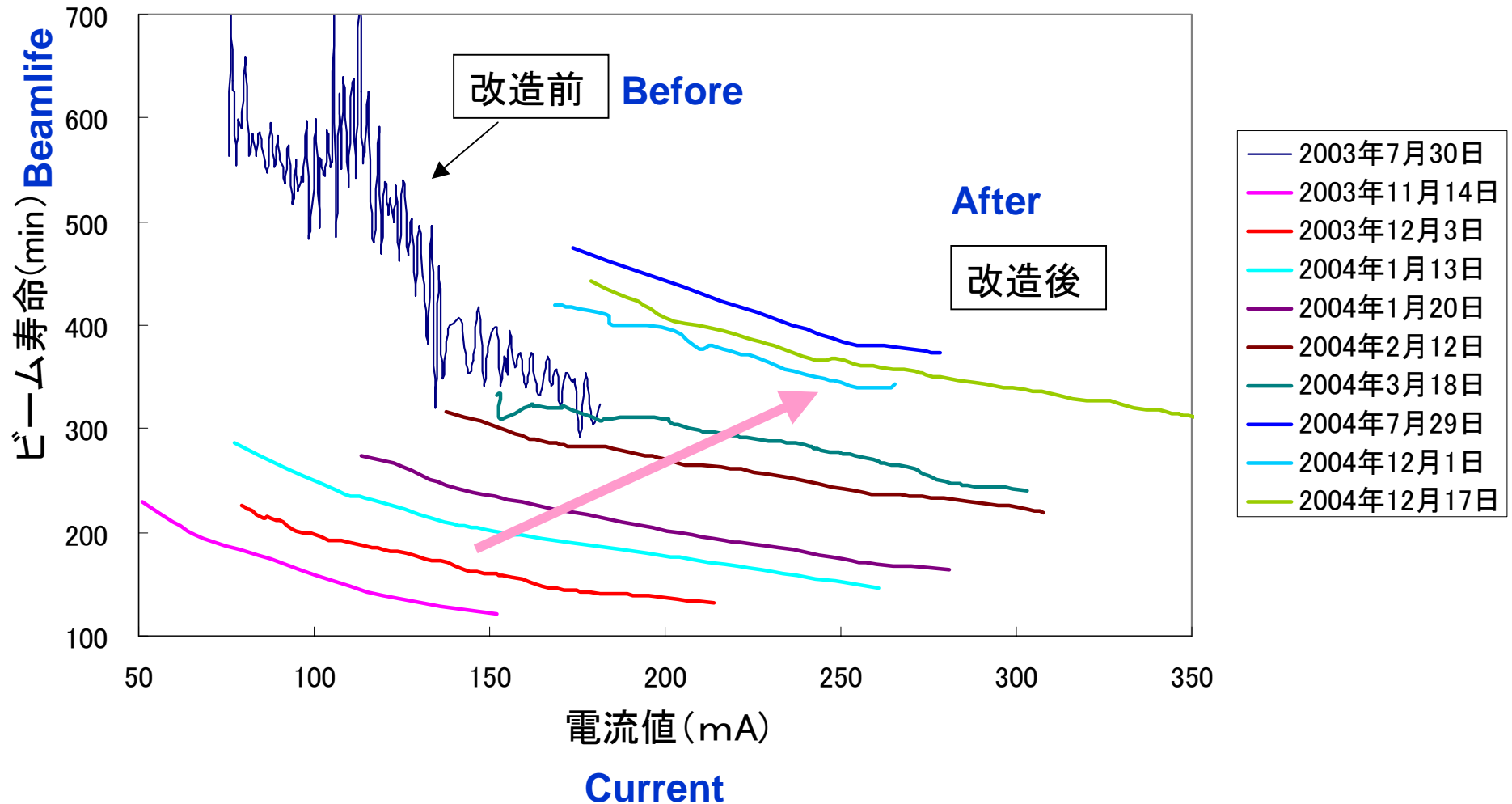


**HOM derived
beam fractuaction
suppressed**

Fig. Comparison of Vertical Beam Position

Beam Life after Cavity Replaced

* Both stored current & lifetime improved



放射光ナノサイエンスの全国展開

全国共同利用

東北大学、山形大学、東京大学、
 東京都立大学、東京理科大学、
 名古屋大学、大阪大学、
 大阪府立大学、奈良先端大、
 日本原子力研究所、
 岡山大学、愛媛大学、
 島根大学、広島市立大学、
 広島国際大学、日本大学、
 兵高等専門学校、
 宇部高等専門学校
 民間等との共同研究
 ((株)マツダ他複数社)

平成 15 年度
 53 棟館
 利用者数 259 名

HiSOR

低エネルギー放射光
 革新的な物質科学研究

国際共同研究

ベルギー、ポーランド、
 スウェーデン、ロシア、
 ドイツ、米国、
 中国、韓国

平成 13~15 年度 15 件

「放射光ナノサイエンスの全国展開」

研究拠点として、2005年度から経費(拠点形成経費)が認められた。

運転体制に関して、オペレータ(1~2名)を導入して更に利用時間を延長することで、全国共同利用施設として利用者の期待に応えてゆきたい。

研究



カーボンナノチューブ
 前水理論の検証
 Nature 426(2003)



ナノクラスター

レーザーアブレーション
 STM

微細電子構造の決定・物質機能の解明

ナノ構造体の創製・原子配列の解析

教育

教育の現場に設置された放射光施設の特長を活用した若手人材育成



大学院博士課程
 国際シンポジウム



学士課程
 放射光実習



高大連携
 高校生による放射光実験



高等学校
 先端科学体験

Mission to promote SR nano-science nationwide is approved by government, and fund will come for 5 years in the results.



HiSOR-II (仮称) 配置例



* BLに必要なスペースとの折合
(BLのコンパクト化も要検討)



HiSOR Future Plan (Tentative)

* Good chance to appeal new plan, for user producing good results...

Nano-science promotion fund promised → R&D possible

* Milestone (Personal idea):

2010 is HiSOR's 15th anniversary after established

HiSOR- → HiSOR- II

Trying to get first step !

in order to keep leading position in the field of materials science
(Solid State Physics) using soft X-ray high resolution photo emission
spectroscopy

(2005.02.28 T. Hori)

Requirements for HISOR-II Electron Storage Ring

- $E=700$ MeV, with top-up injection option
- Low emittance: $\varepsilon < 50 \pi$ nm-rad
- Fit in small site: $<15\text{m} \times 15$ m, $C < 50$ m
→ sextupoles in Q magnets
- 3.5 m \times 3 and 2 m \times 1 straight sections for insertion devices
- Injection, RF cavities, monitors, ...
→ 6 or more straight sections are needed

Emittance

- Theoretical Minimum Emittance (TME)

$$\varepsilon = \frac{C_q \gamma^2 \theta^3}{12\sqrt{15} J_x}$$

θ : deflection angle of a bend

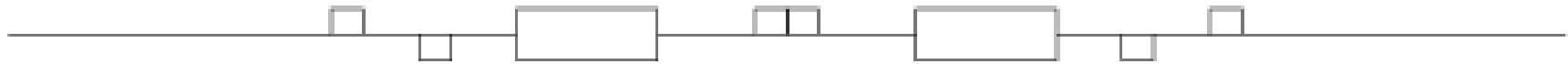
J_x : Horizontal damping partition number ≈ 1

Number of Bends	4	6	8	10	12
$\frac{C_q \gamma^2 \theta^3}{12\sqrt{15}}$ (nm)	60	18	7.5	3.8	2.2

$\varepsilon < 50 \pi$ nm-rad \rightarrow 6 or 8 Bends are needed

Lattice type

- DBA-like type



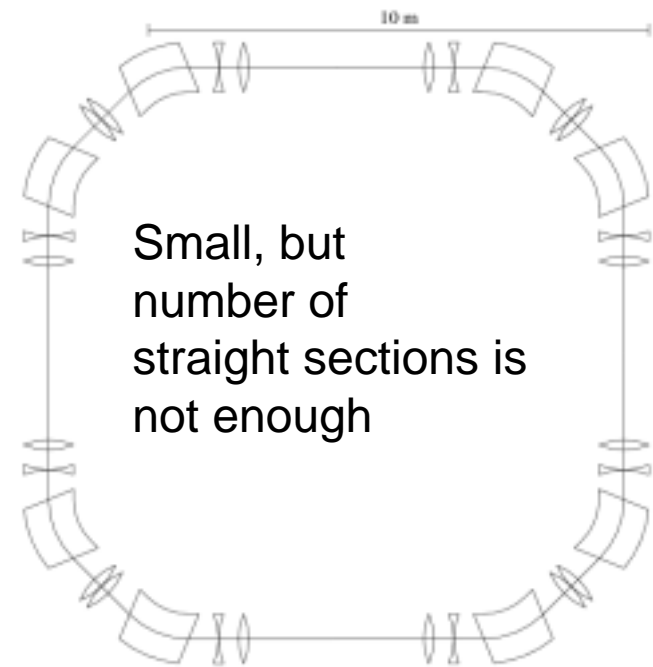
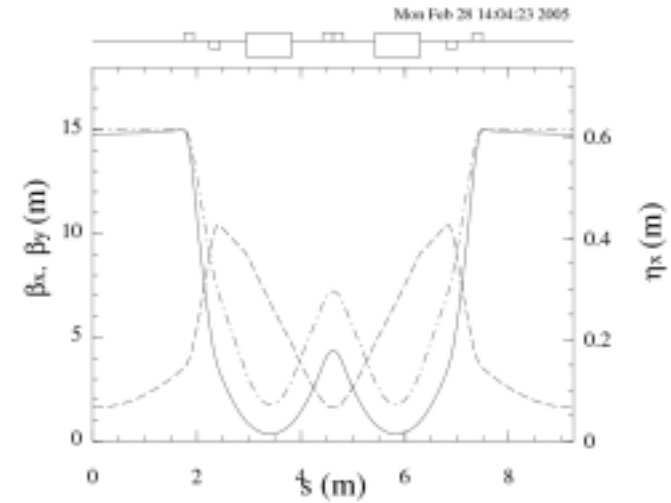
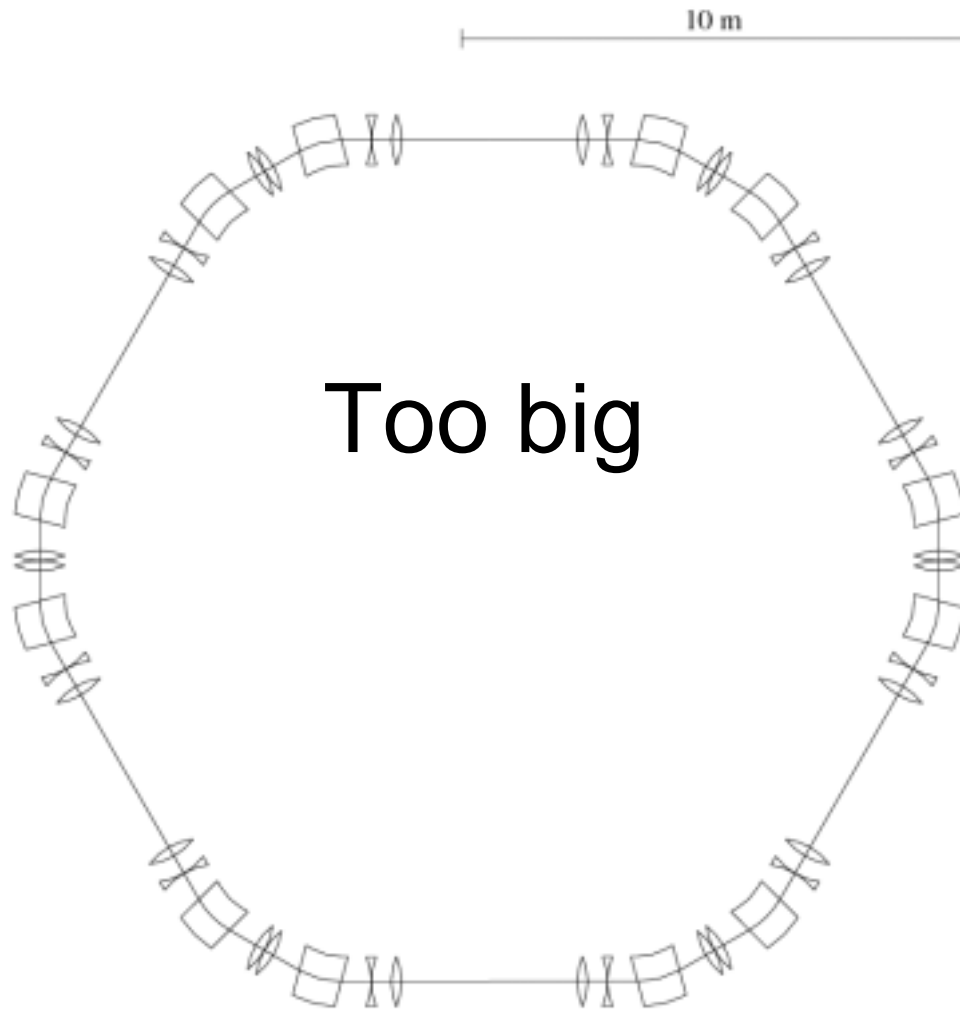
- UVSOR-II-like type



- MAX-III-like type



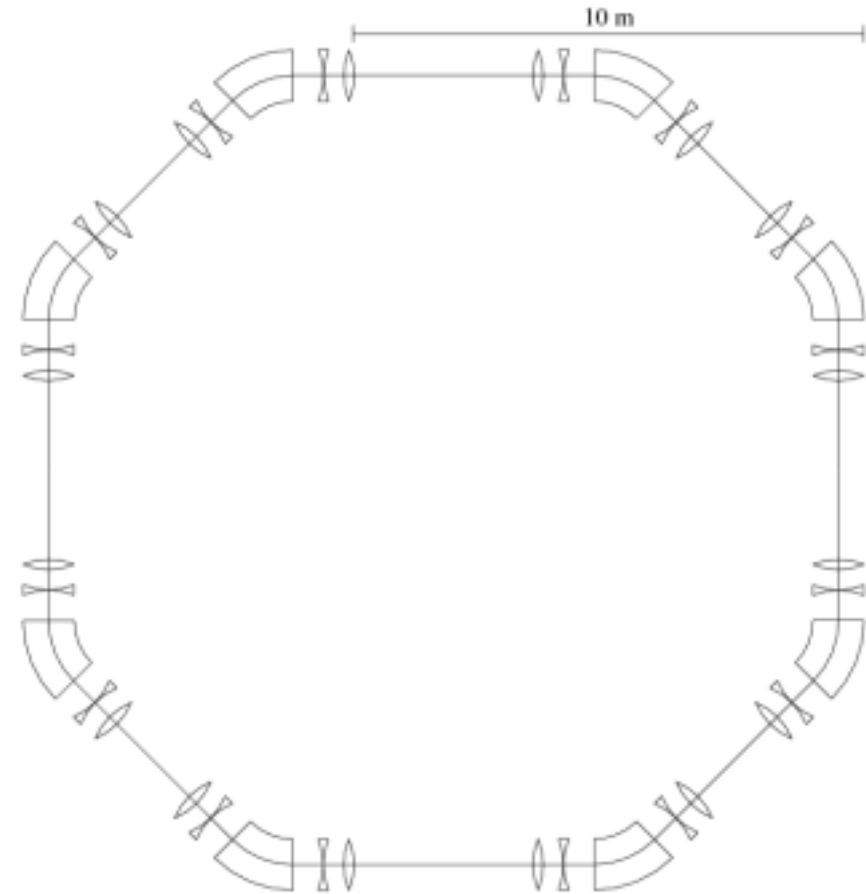
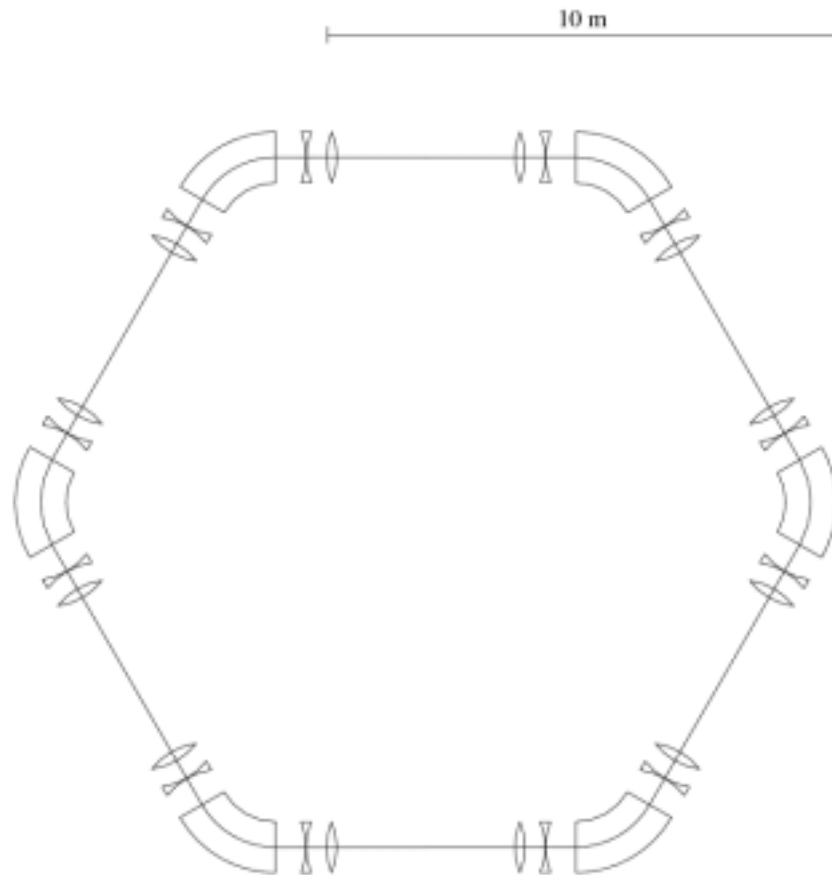
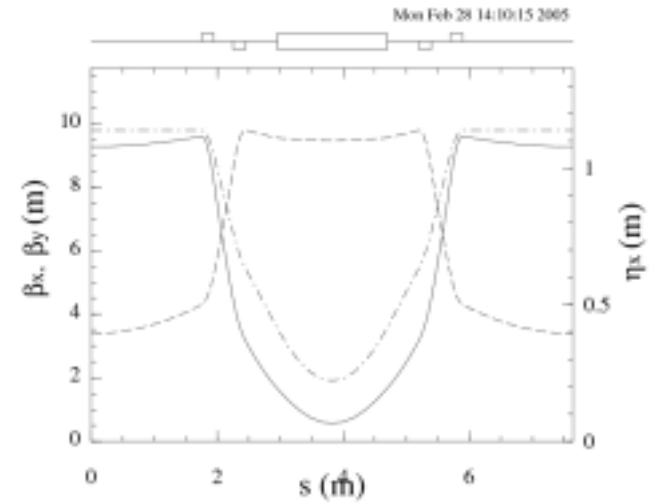
DBA type



UVSOR-II type

Small size

Two Q families for tune selection

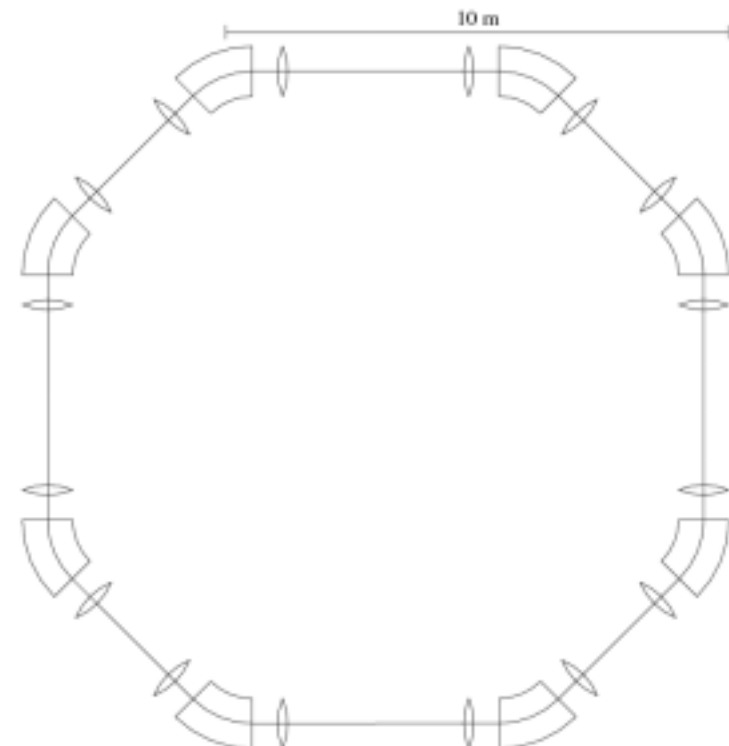
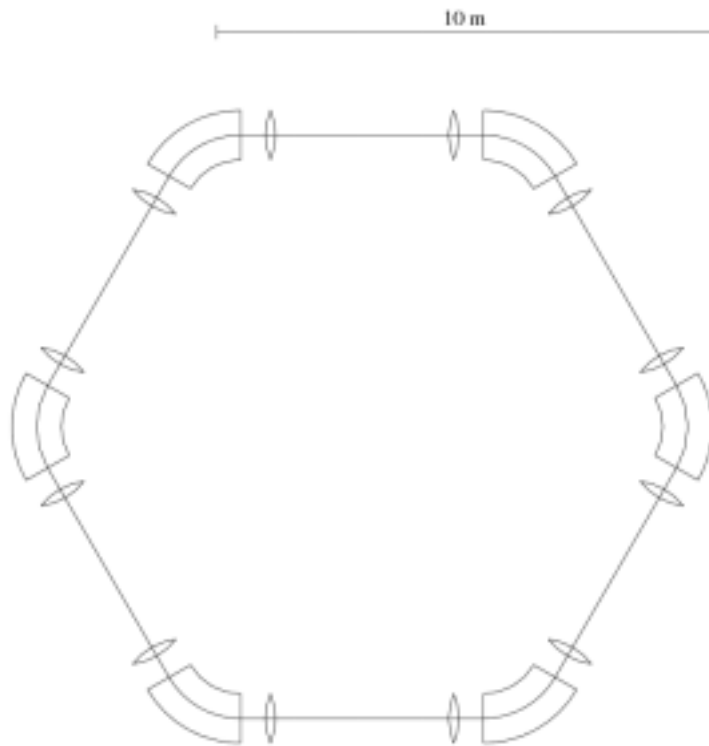
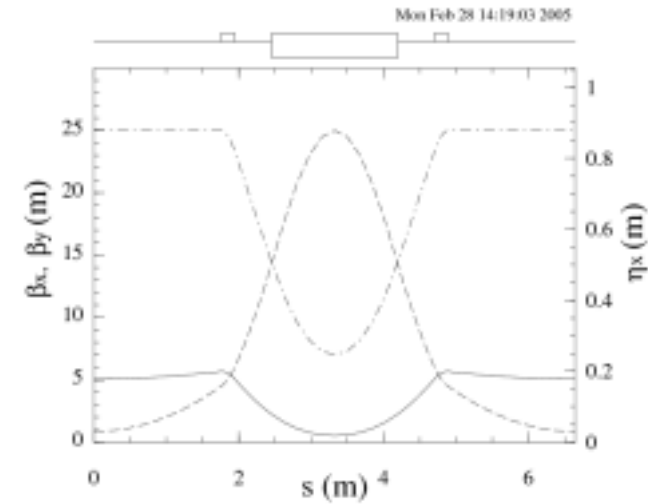


MAX-III type

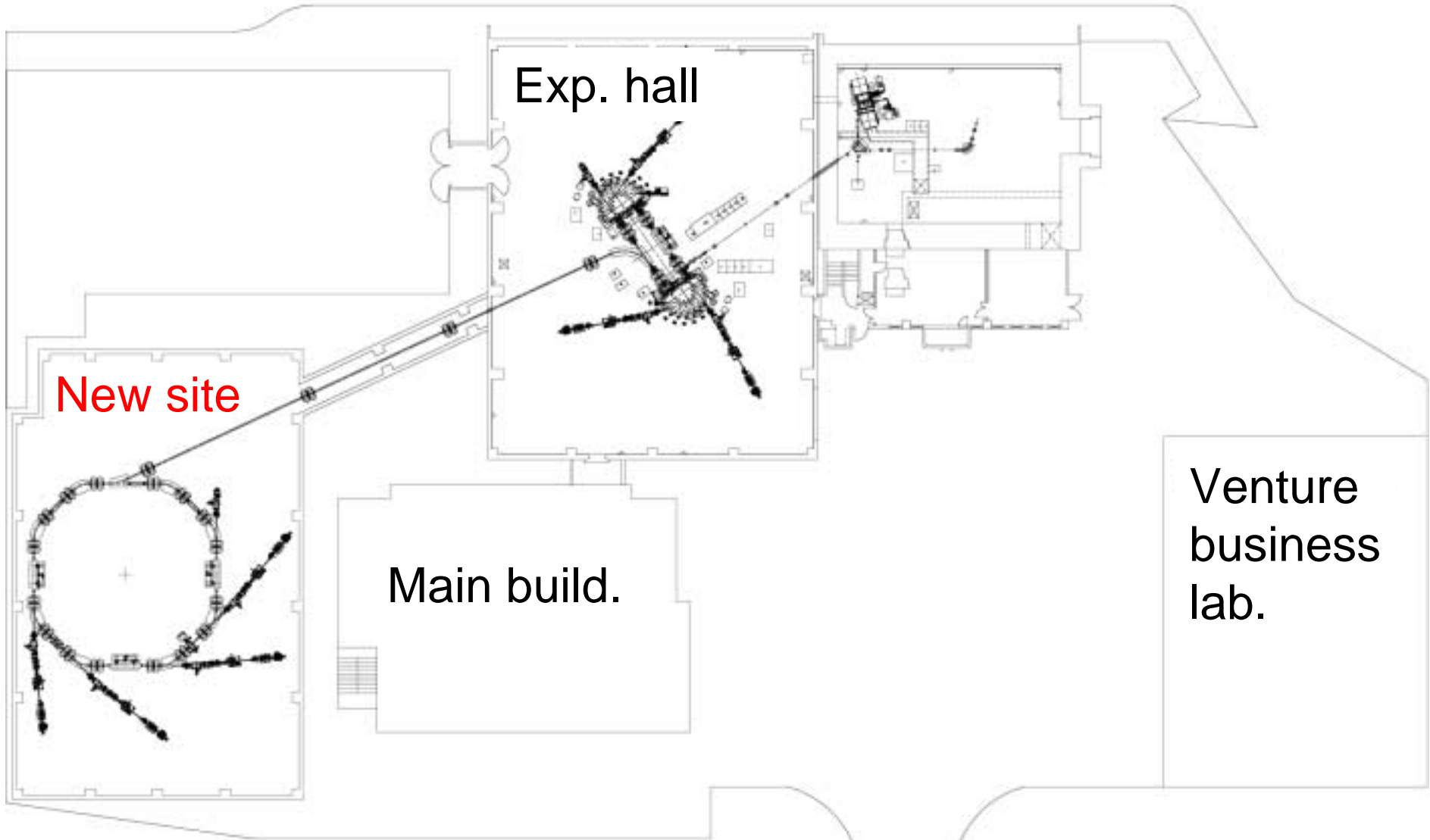
Same as UVSOR-II type,
except the defocusing Quads
inside Bends.

→Smallest!

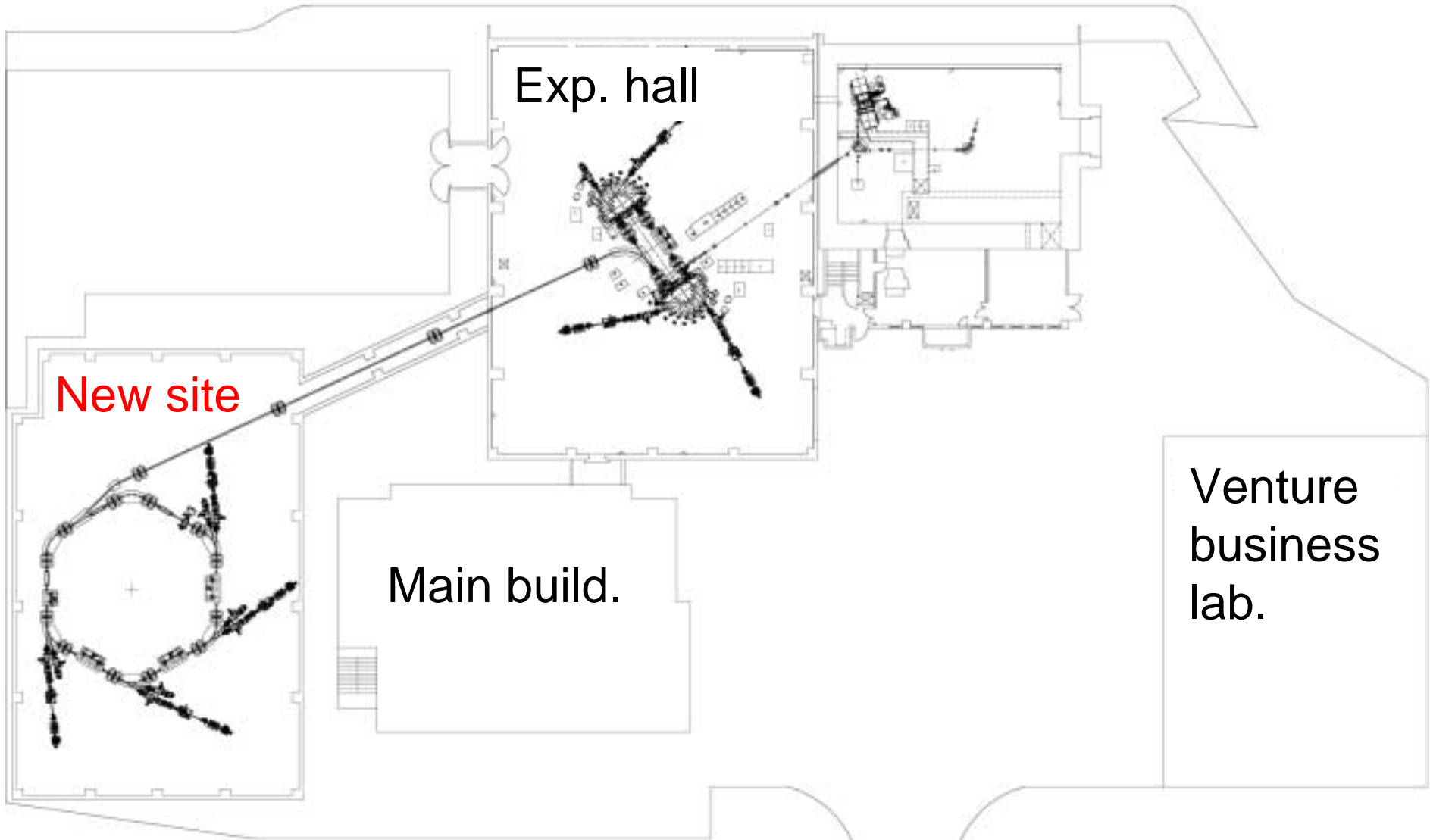
→Complicated Bends
(need trim coils for tune selection)



type	DBA-like		UVSOR-II-like		MAX-III-like	
	hexagon	square	hexagon	octagon	hexagon	octagon
Energy (MeV)	700MeV Bp=2.335 Tm					
Circumference (m)	55.479	40.479	45.879	51.679	39.879	43.679
Superperiodicity	6	4	6	4	6	4
Tune H	5.314	3.240	3.012	3.855	2.913	3.546
V	2.769	1.800	1.393	2.455	2.395	1.676
Natural emittance (π nm-rad)	7.0	30.2	49.5	21.9	31.9	22.0
Energy spread	4.708e-4	4.780e-4	4.455e-4	4.526e-4	5.447e-4	5.402e-4
Momentum comaction factor	0.01028	0.03835	0.03933	0.02119	0.05252	0.03376
Damping time L	10.457	7.867	7.745	9.005	10.062	10.843
(msec) H	19.292	13.336	20.323	21.162	9.455	10.518
V	20.344	14.844	16.824	18.951	14.624	16.017
Energy Loss (keV./turn)	12.735	12.735	12.735	12.735	12.735	12.735
Natural chromaticity H			-6.231	-9.405	-2.804	-2.893
V			-4.912	-6.537	-10.311	-7.170
Number of Bends	12	8	6	8	6	8
Number of Quads	QF 12 QD 12 QA 6	QF 8 QD 8 QA 4	QF 12 QD 12	QF 16 QD 16	QF 12	QF 16
Straight sections	3.5m \times 6	3.5m \times 4	3.5m \times 6	3.5m \times 4 2m \times 4	3.5m \times 6	3.5m \times 4 2m \times 4
Note					need development of Bends	



HISOR-2 PLAN OCT-2



HISOR-2 PLAN HEX-2

What kind of proposal ?

From machine side,

Attractive ideas can be included in the ring itself ?

What sort of undulators should be considered

Need various applications to collect many soft X-ray users.

2010 is HiSOR's 15th anniversary after established

HiSOR- → HiSOR- II Trying to get first step !

in order to keep leading position in the field of materials science
(Solid State Physics) using soft X-ray high resolution photo emission
spectroscopy

We have enough time so far... , thus,

please give us good suggestions and/or helpful comments,
we appreciate your collaboration, thank you !

(2005.03.01 T. Hori)