



**HIMACでのビーム安定化の現状**

**M. KANAZAWA**

**Research Center of Charged Particle Therapy**

**National Institute of Radiological Sciences**

資料9 主な部位の炭素イオン線治療の抗腫瘍効果, 生存率

プロトコール	頭頸-1 (I/II相)	頭頸-2 (I/II相)	頭頸-3 (II相)	肺-1 (I/II相)	肺-2 (I/II相)	肺-3 (I/II相)	肺-4 (II相)
対象	局所進行癌	局所進行癌	局所進行癌	肺野型 (I期)	肺野型 (I期)	肺門型 (I期)	肺野末梢型 (I期)
照射法	18回/6週	16回/4週	16回/4週	18回/6週	9回/3週	9回/3週	9回/3週
患者数	17	19	99(+1)	47(+1)	34	7	41(+1)
2年局所制御率	80%	71%	57%	62%	86%	-	-
3年生存率	44%	44%	41%	88%	65%	-	-

プロトコール	肝-1 (I/II相)	肝-2 (I/II相)	前立腺-1 (I/II相)	前立腺-2 (I/II相)	子宮-1 (I/II相)	子宮-2 (I/II相)	骨軟部 (I/II相)
対象	T2-4NOMO	T2-4NOMO	B2-C	A2-C	III-IVa	IIb-IVb	手術不適応
照射法	15回/5週	4-12回 /1-3週	炭素+ ホルモン	炭素± ホルモン	均等分割 照射	原発部のみ 線量増加	16回/4週
患者数	24(+1)	68(+3)	35	61	30	14	57(+7)
2年局所制御率	79%	83%	100%	97%	50%	75%	76%
3年生存率	50%	-	94%	98%	40%	-	45%

局所制御率：放射線照射野内にかんの再発または再燃が見られないものの割合

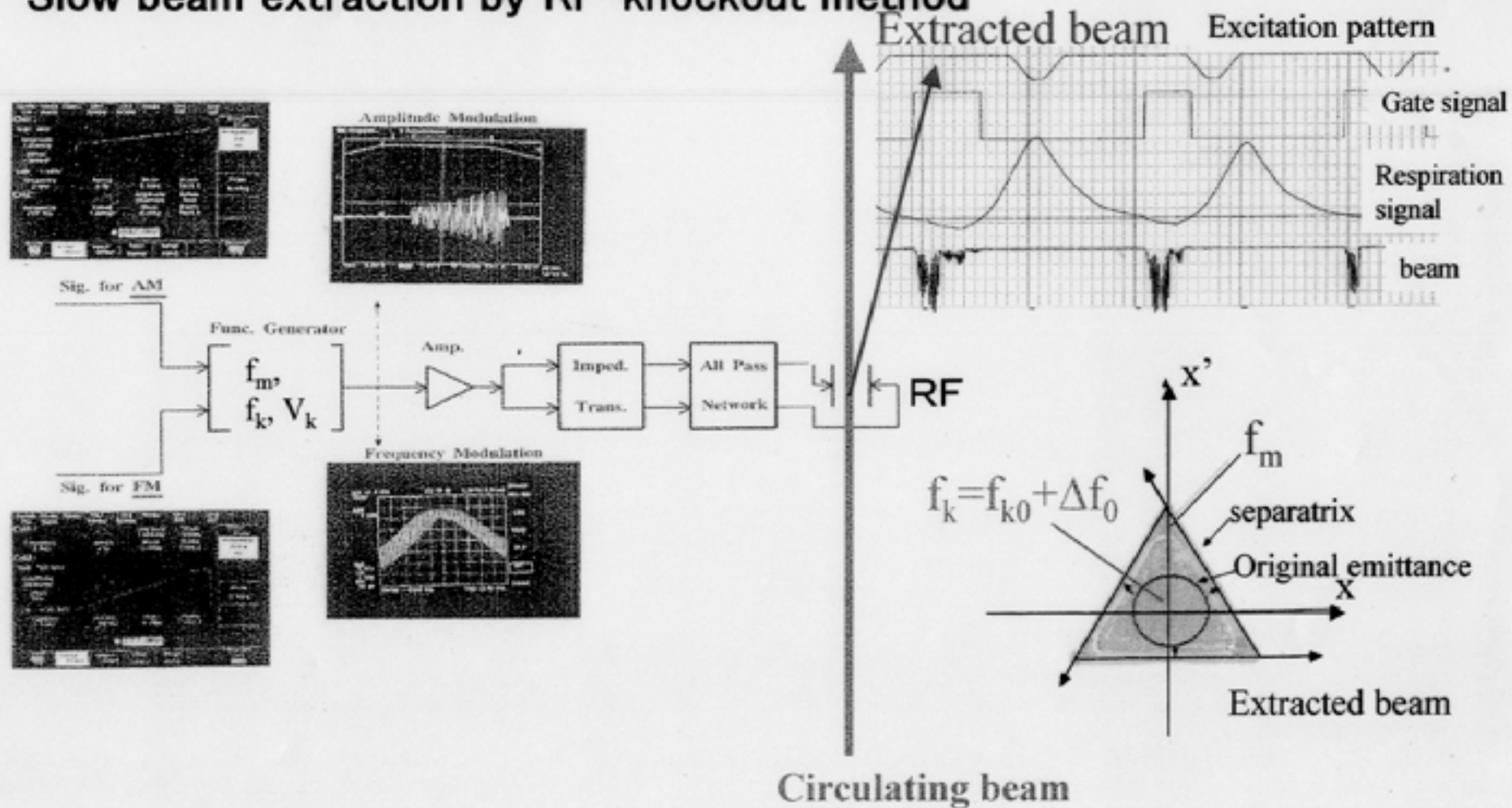
資料5 重粒子線治療登録患者地域分布

現住所	男性	女性	計	都道府県別割合(%)	県別人口に対する割合(10 <sup>-4</sup> %)
北海道	13	3	16	1.6	2.8
青森県	1	1	2	0.2	1.4
岩手県	2	0	2	0.2	1.4
宮城県	1	3	4	0.4	1.7
秋田県	0	0	0	0.0	0.0
山形県	3	1	4	0.4	3.2
福島県	4	5	9	0.9	4.2
茨城県	20	15	35	3.5	11.7
栃木県	8	3	11	1.1	5.5
群馬県	4	2	6	0.6	3.0
埼玉県	19	15	34	3.4	4.9
千葉県	338	172	510	50.4	86.1
東京都	106	41	147	14.5	12.2
神奈川県	35	21	56	5.5	6.6
新潟県	10	8	18	1.8	7.3
富山県	0	1	1	0.1	0.9
石川県	0	1	1	0.1	0.8
福井県	2	0	2	0.2	2.4
山梨県	2	3	5	0.5	5.6
長野県	8	2	10	1.0	4.5
岐阜県	2	3	5	0.5	2.4
静岡県	11	8	19	1.9	5.0
愛知県	10	7	17	1.7	2.4
三重県	2	1	3	0.3	1.6
滋賀県	0	0	0	0.0	0.0
京都府	3	3	6	0.6	2.3
大阪府	17	11	28	2.8	3.2
兵庫県	18	7	25	2.5	4.5
奈良県	3	2	5	0.5	3.5
和歌山県	1	0	1	0.1	0.9
鳥取県	0	0	0	0.0	0.0
島根県	1	1	2	0.2	2.6
岡山県	1	0	1	0.1	0.5
広島県	1	0	1	0.1	0.3
山口県	0	0	0	0.0	0.0
徳島県	0	1	1	0.1	1.2
香川県	1	0	1	0.1	1.0
愛媛県	0	0	0	0.0	0.0
高知県	0	0	0	0.0	0.0
福岡県	7	4	11	1.1	2.2
佐賀県	0	0	0	0.0	0.0
長崎県	3	0	3	0.3	2.0
熊本県	1	1	2	0.2	1.1
大分県	2	0	2	0.2	1.6
宮崎県	0	0	0	0.0	0.0
鹿児島県	3	0	3	0.3	1.7
沖縄県	2	0	2	0.2	1.5
合計	665	346	1011	100.0	8.0

注：総人口のデータは総務省統計局統計センター平成12年度国勢調査  
平成12年12月22日公表



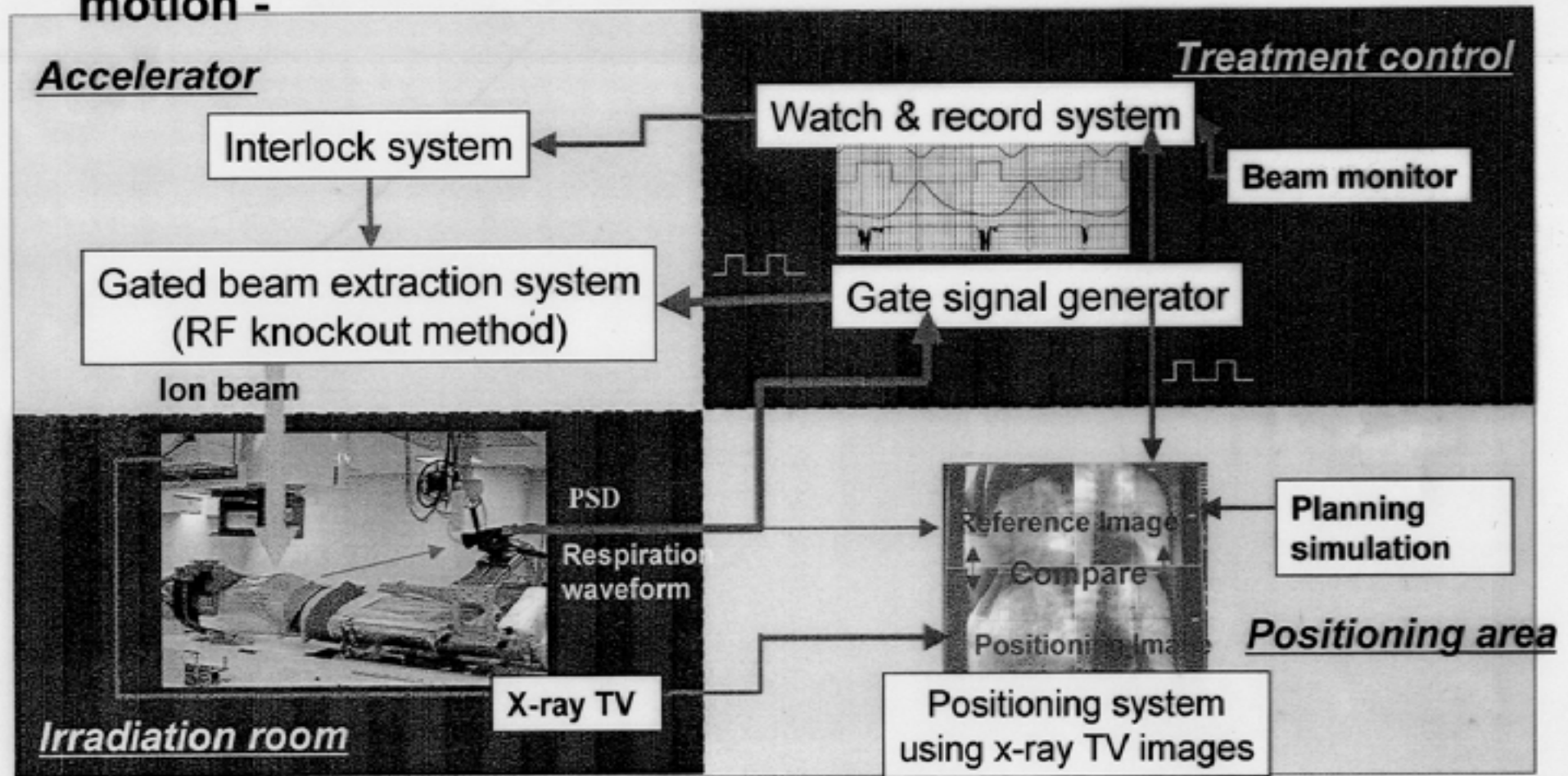
## Slow beam extraction by RF-knockout method



# Development for key-technology



- Irradiation system of coincident with a patient's respiratory motion -

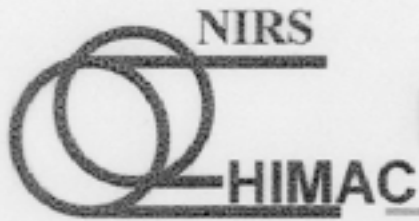


### Operational statistics (Upper Synchrotron)

Year	Total (h)	treatment (h)	Trouble (h)
1996	4466	1084	200 (4.5%)
1997	4928	1413	50 (1.0%)
1998	5384	1451	<u>25 (0.5%)</u>

### Operational statistics (Lower Synchrotron)

Year	Total (h)	Treatment (h)	Trouble (h)
1996	4586	1265	141 (3.1%)
1997	5076	1404	29 (0.6%)
1998	5207	1353	<u>31 (0.6%)</u>

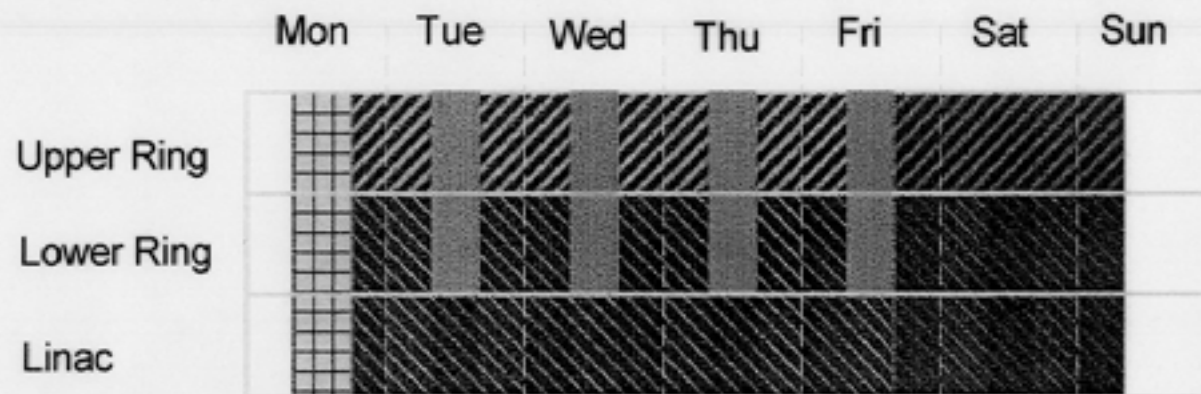


# Key-technology for medical use






## Requirement for cancer therapy




1. Good stability, reliability,  
easy operation & maintenance
  - Ion source, injector
  - Synchrotron
2. Accurate irradiation system
  - coincident with a respiratory motion
3. Compact facility
  - Injector
  - Synchrotron



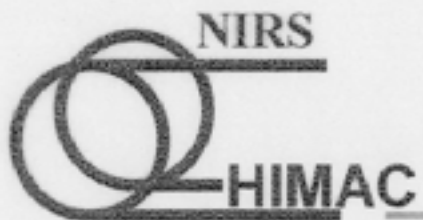
## Monday

- Maintenance
- Weekdays (Daytime)
- Therapy
- Weekdays (Night) and Weekend
- Experiments

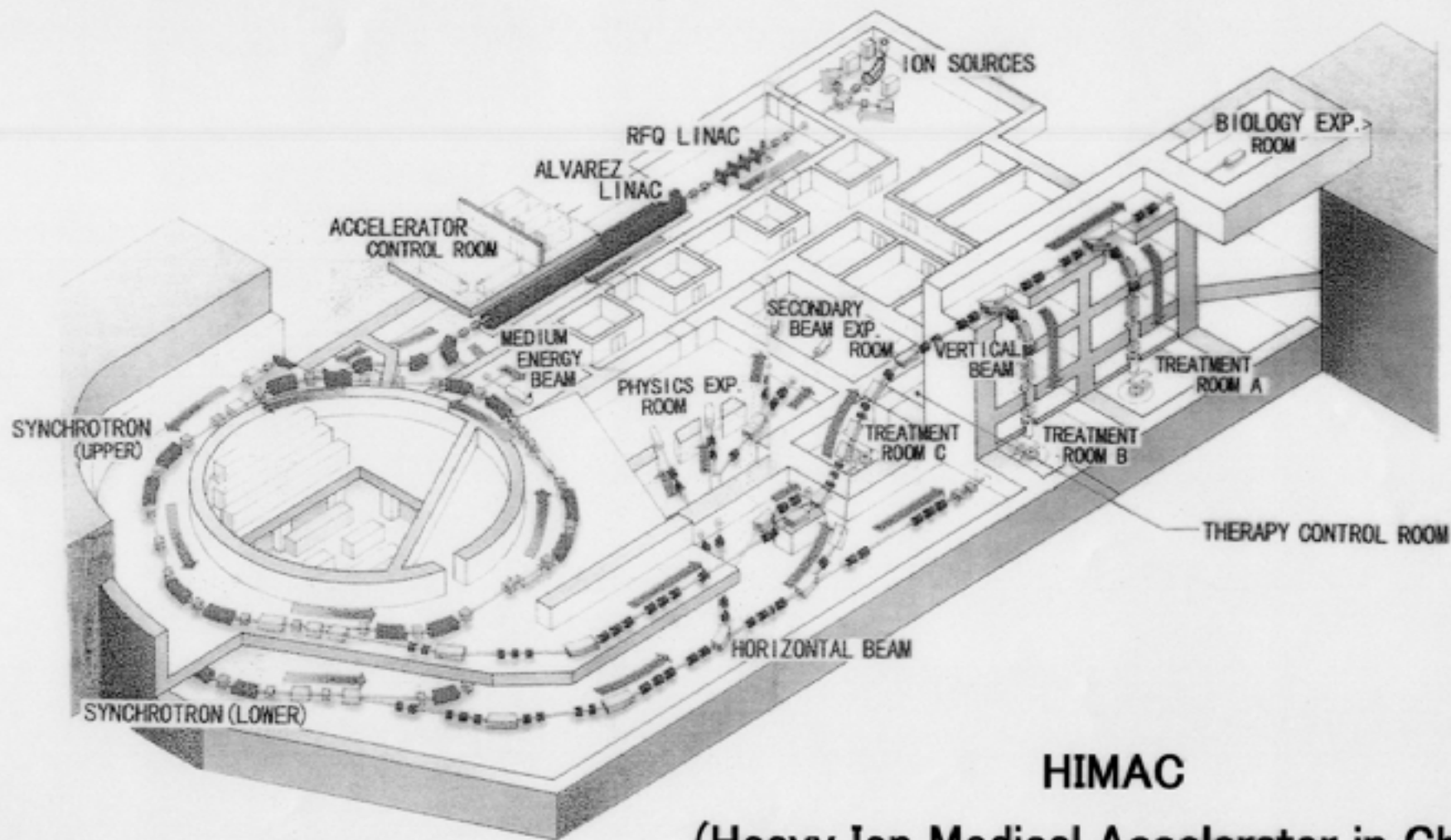
Appl.     Therapy     Biology     Physics or Others

Ion species     C     He, Ne, Ar, ...     Maintenance (No Beam)



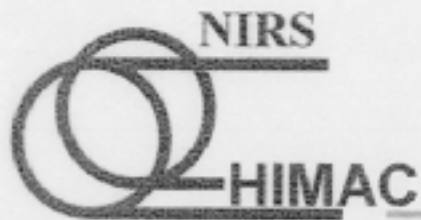


# Bird's View of HIMAC



**HIMAC**

**(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)**



## Requirements for the accelerator



Several treatment rooms/accelerator  
( 3 rooms in HIMAC)



Two energy steps

Quick change of

the beam course and the beam energy



## Fractionation of the irradiation

4 ~ 18 fractions/treatment

1 ~ 6 weeks

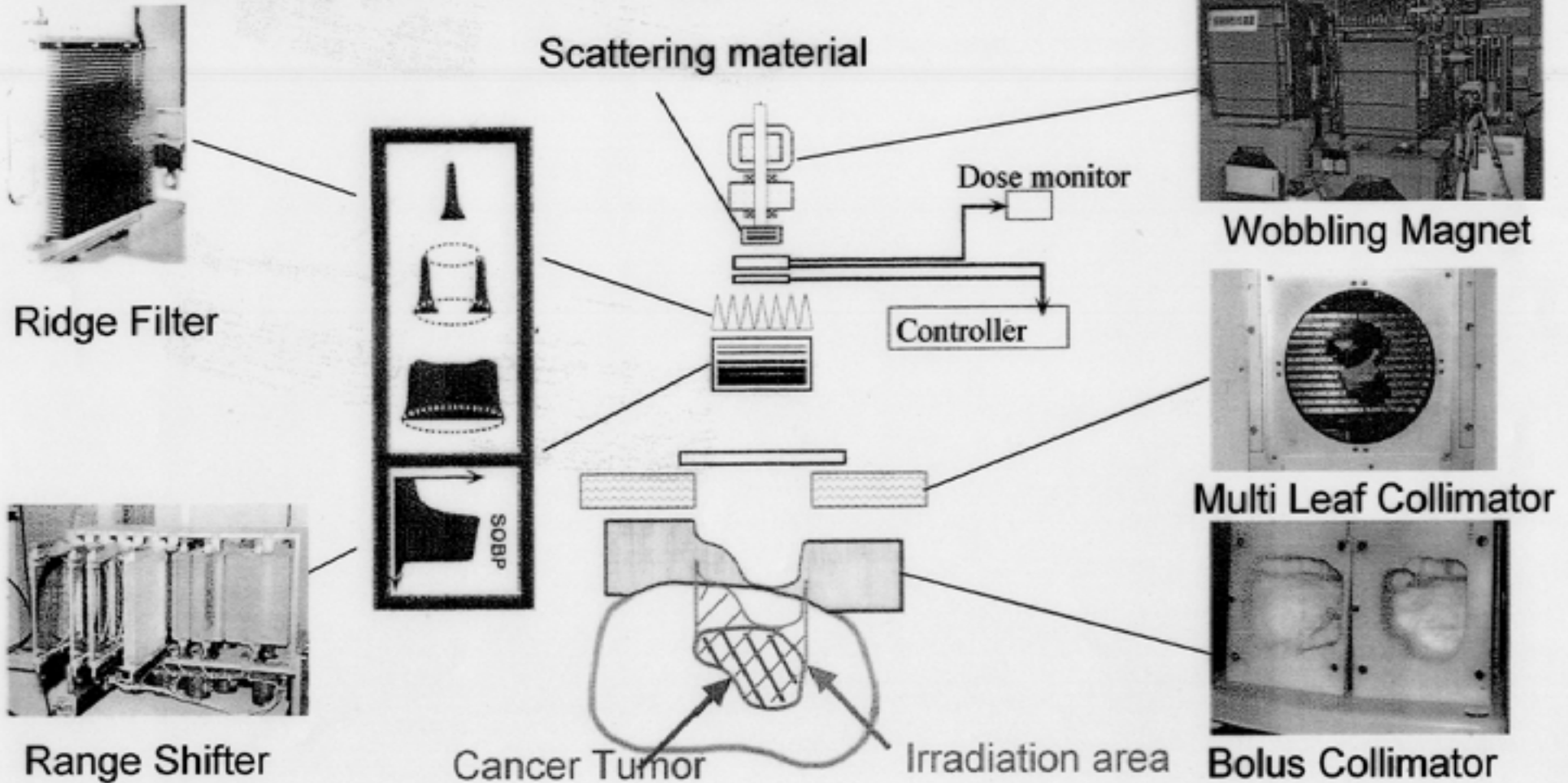
( ~ 30 fractions with  $\gamma$  ray )

Stable operation without long machine stop

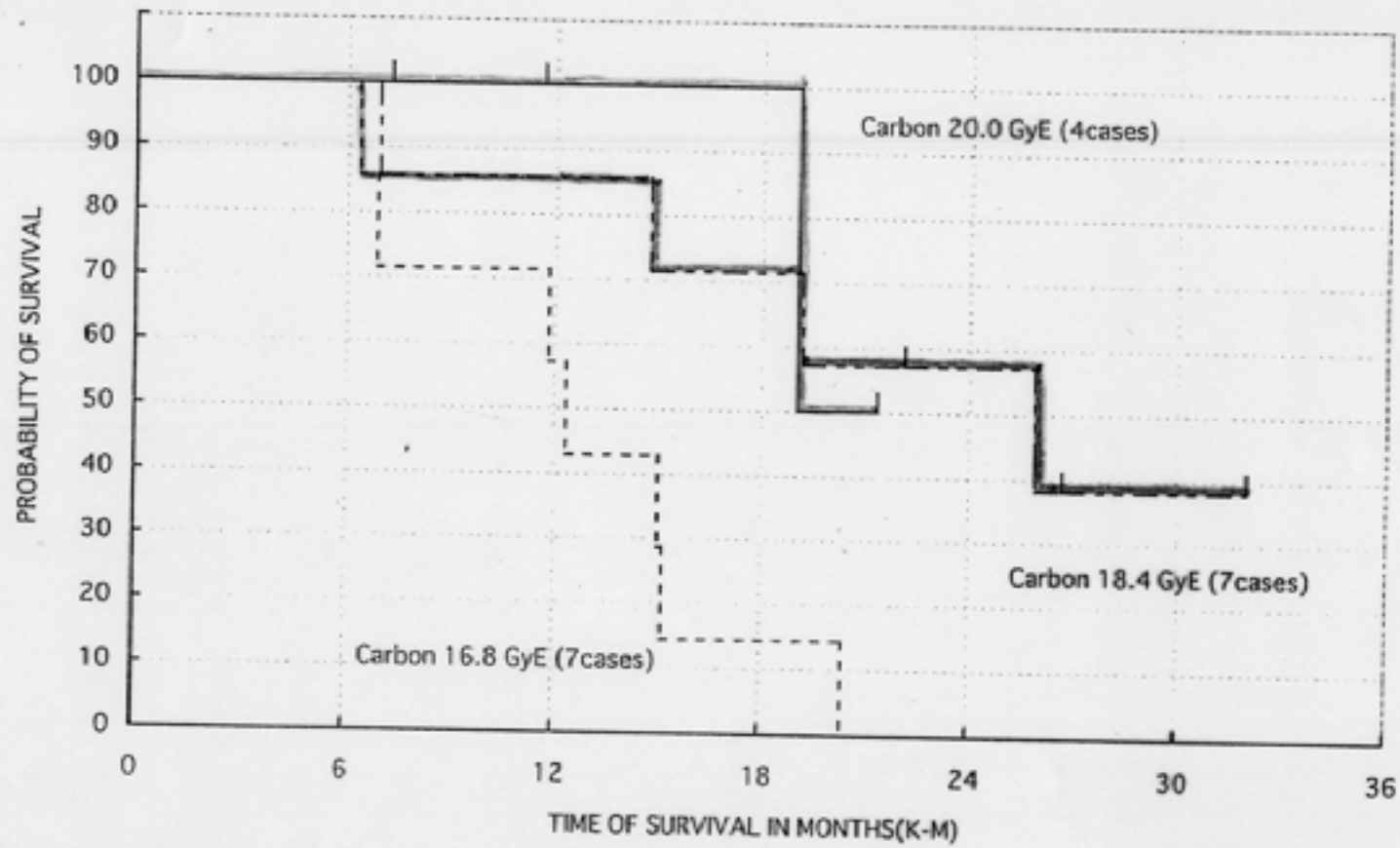
# Beam Delivery System



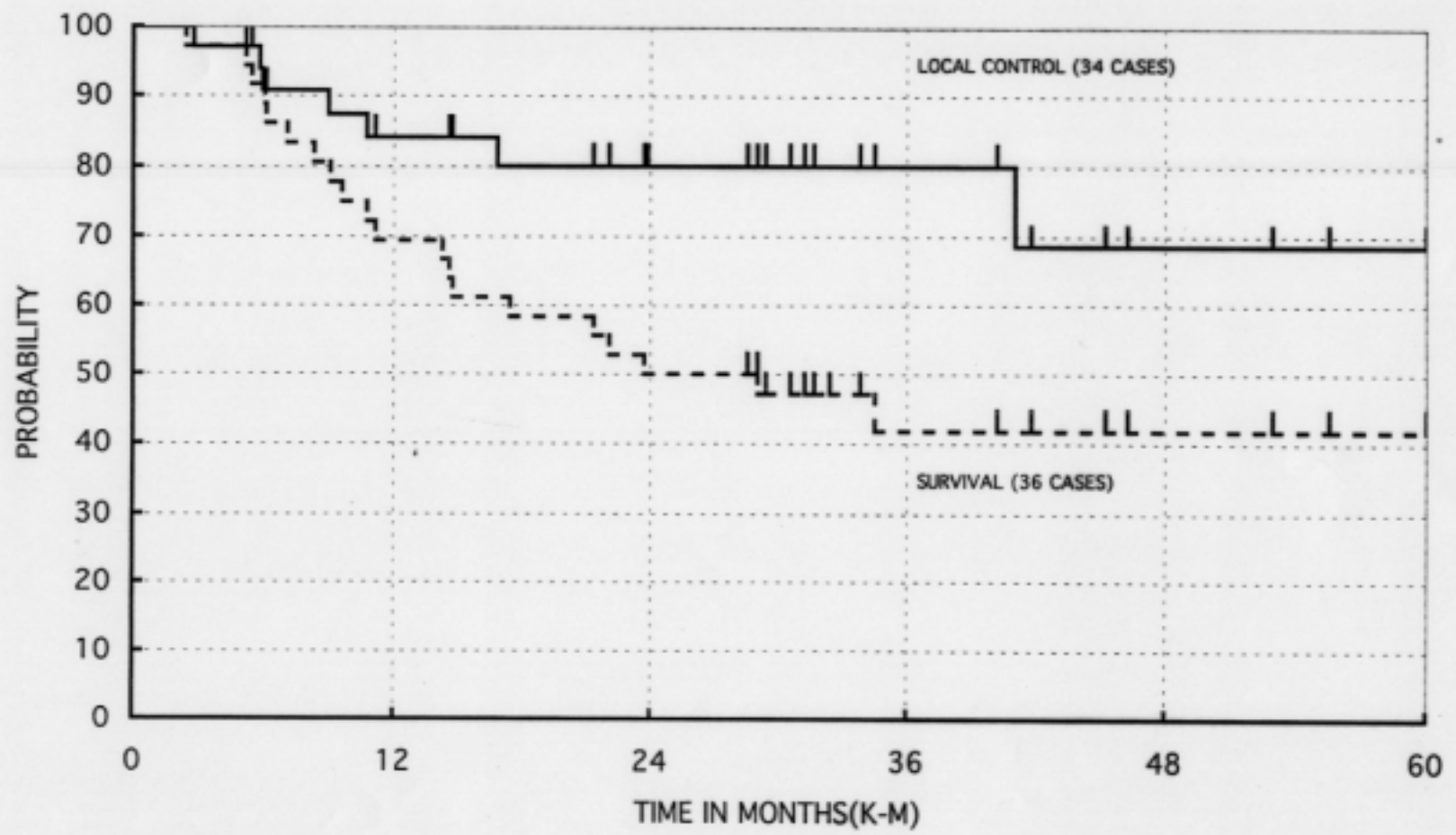
## Making of Spread Out Bragg Peak



CARBON ION RADIOTHERAPY for MALIGNANT GLIOMAS  
SURVIVAL



### CARBON ION RADIOTHERAPY for H & N CANCER



## Local control rates in carbon ion therapy

(Treatment period 1994.6~1999.8)

Site	Dose (GyE)	12months	24months	36 months
Head & neck I	48.6~70.2	11/13	8/10	8/10
II	52.8~64.0	12/15	10/14	5/10
III	57.6~64.0	45/58	19/30	8/12
C.N.S.				
Astrocytoma	50.4~55.2	7/10	4/9	2/8
Malig. Glioma	66.8~70.0	9/25	3/19	2/16
Metastatic	52.8	3/4	2/3	
Lung I stage I	59.4~95.4	45/48	29/46	23/40
Stage IIIA	59.4~64.8	4/5	2/5	2/5
Lung II stage I	72.0~79.2	45/48	15/20	
Liver I	49.5~79.5	21/22	15/19	12/16
II	48.0~66.0	52/55	20/25	2/3
Prostate I	54.0~72.0	34/34	33/33	30/30
II	66.	41/41	18/18	
Uterine cervix I	52.8~72.0	16/30	14/28	12/26
II	62.4~72.8	8/15	3/5	
Bone & soft tissue	52.8~70.4	46/55	25/34	5/10
Esophagus	48.0~54.0	1/9	0/9	
(before operation)	52.8~72.0	4/6	0/2	
Skull base	48.0~52.8	10/10	5/6	1/1
Miscellaneous	48.0~80.0	70/87	29/51	17/35
<b>Total</b>		<b>486/589</b> 82%	<b>254/386</b> 66%	<b>128/219</b> 57%

## Total patient numbers (1994.6 ~ 2000.8)

	94	95	96	97	98	99	00	total
Head & neck	9	10	19	31	22	38	10	139
C.N.S.	6	8	10	6	9	7	8	54
Lung	6	11	27	17	28	33	21	143
Liver		12	13	19	25	17	7	93
Prostate		9	18	10	30	30	11	108
Uterine cervix		9	13	11	10	11	6	60
Bone & soft tissue			9	13	19	18	10	69
Esophagus			1	16	4	0	1	22
Skull base				6	4	2	2	14
Pancreas							2	2
Miscellaneous		24	16	30	17	32	6	125
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>83</b>	<b>126</b>	<b>159</b>	<b>168</b>	<b>188</b>	<b>84</b>	<b>829</b>





# Results of the Clinical Trials



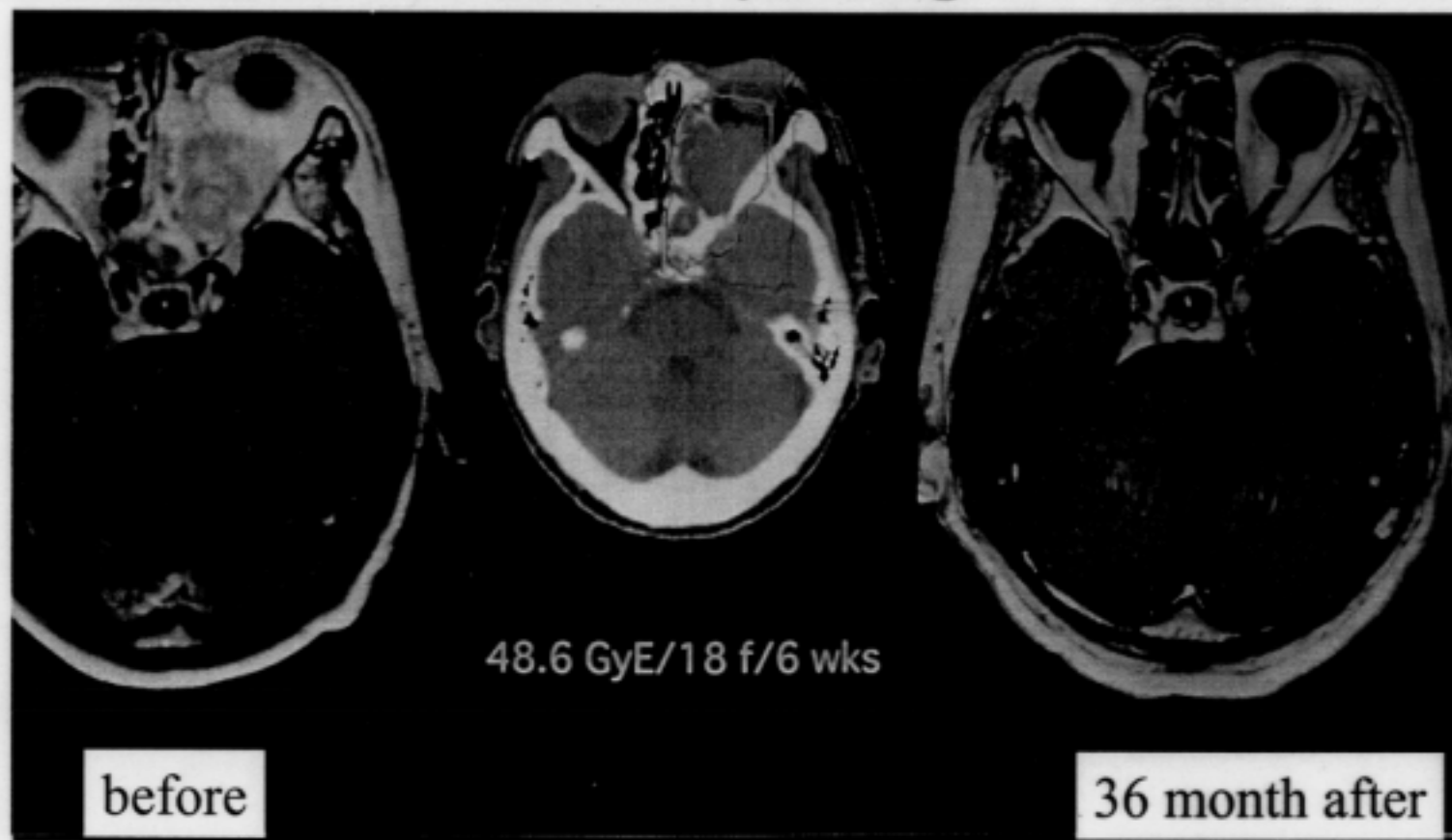
Liver





## Head & Neck cancer

(before / treatment planning / after)



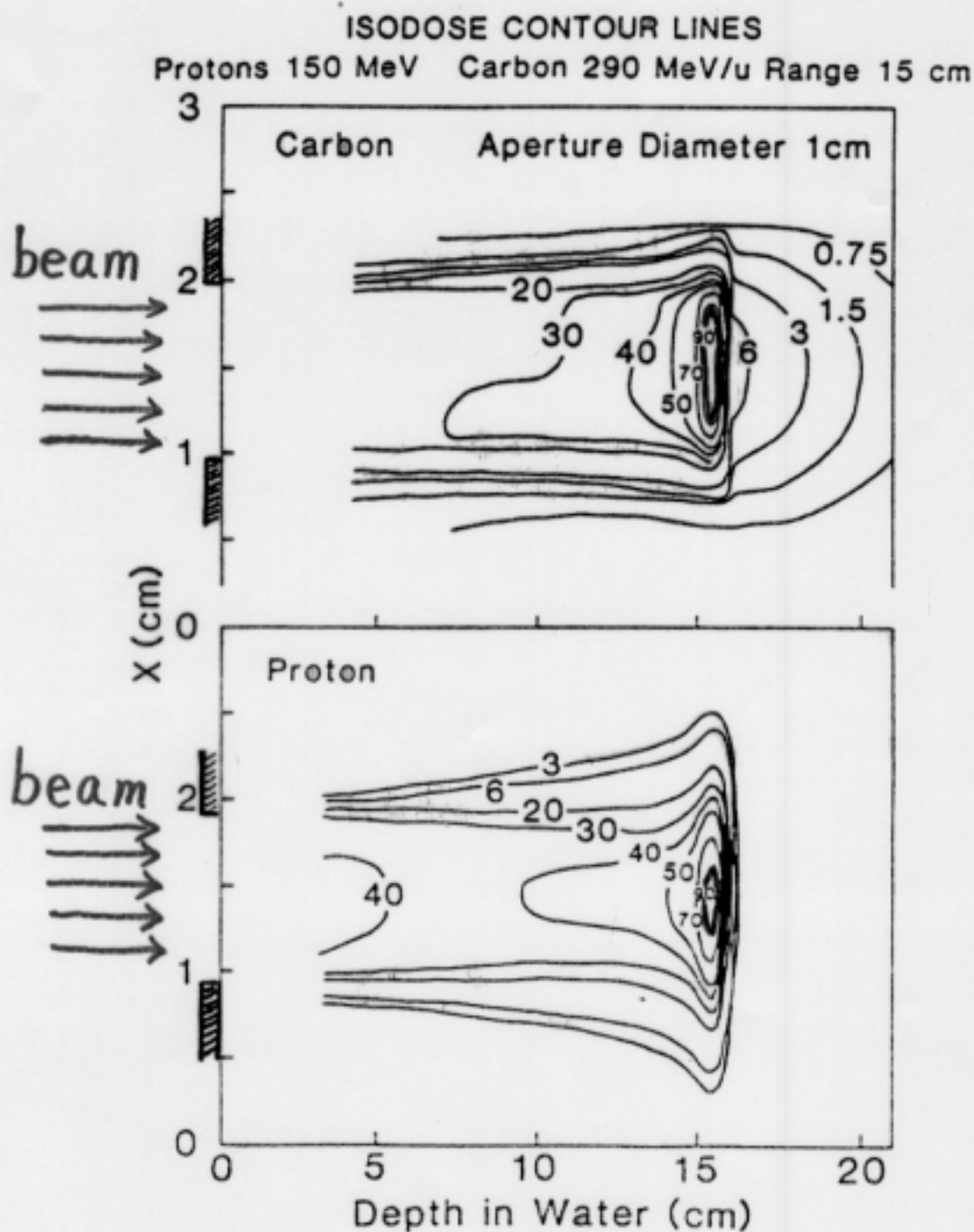


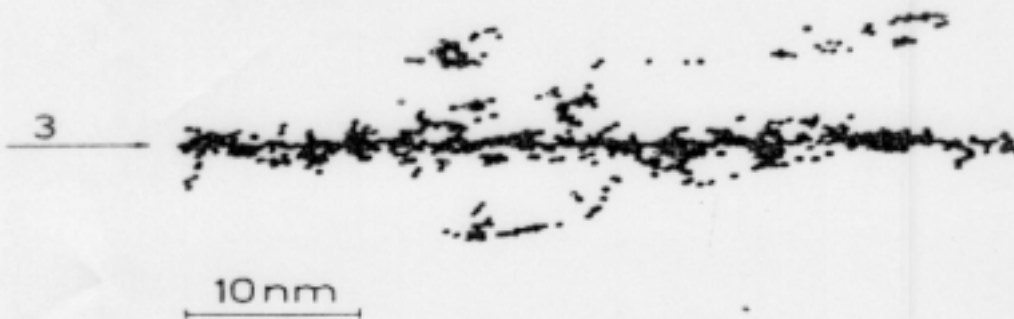
Fig.4 Comparison of dose distribution between carbons and protons. (Blakely, E.A., et.al. Lawrence Berkeley Laboratory, 1986).

# Biological effect of carbon beam

Carbon  
direct reaction

Proton, Gamma ray  
indirect reaction ( OH radical )

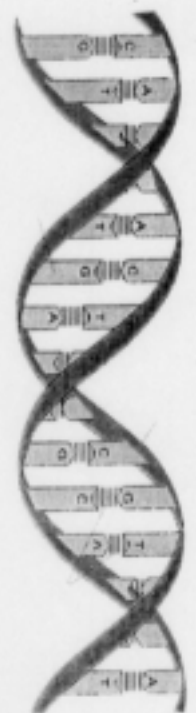
*Carbon (3MeV)*



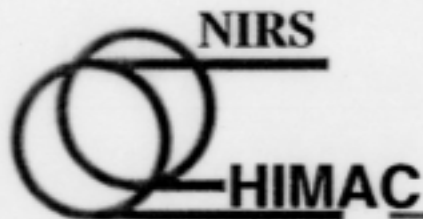
*Proton (3MeV)*



DNA



2nm



# Characteristics of heavy ion cancer therapy



## Biological

High RBE (Relative Biological Effectiveness)

Low OER (Oxygen Enhancement Ratio)

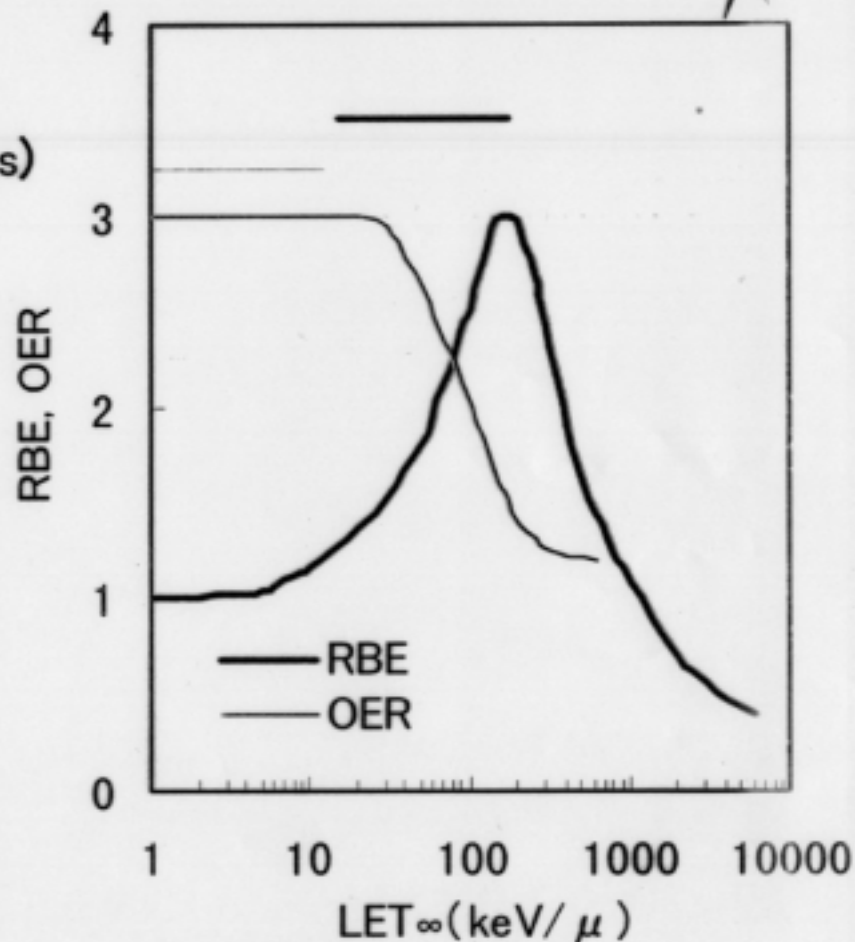
## Physical

High dose concentration

Bragg peak

(Range - calculation with X-CT)

Low multiple scattering



RBE、OERのLET依存性

## HIMAC運転状況(2000年度第Ⅱ期)

作成 2001.06.21 K. Okumura

### <入射器>

供給	調整	待機	故障	停止	計	中工調整	中工実験	TS
2894:27	134:05	9:19	10:51	2:20	3051:02	135:32	297:27	1067

### <主加速器上リング>

供給	調整	待機	故障	停止	計	ビーム加速
1727:43	767:56	481:30	5:09	7:27	2989:45	2000:16

### <主加速器下リング>

供給	調整	待機	故障	停止	計	ビーム加速
2319:22	504:26	170:50	7:17	8:10	3010:05	2506:29

### <HEBT上>

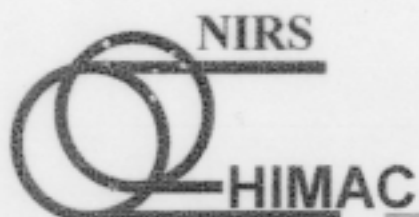
治療	実験	調整	待機	故障	停止	計
700:19	868:14	387:40	818:10	0:00	0:00	2774:23

### <HEBT下>

治療	実験	調整	待機	故障	停止	計
707:42	1312:00	347:24	493:05	0:00	0:00	2860:11

## 2000年度第Ⅱ期の主な故障

入射器	日付	時間数	故障内容
	9/15(金)	2:24	RFQ SGハスコン焼損、交換
	11/03(金)	0:55	イオン源からRFQまで真空度悪化
	11/12(日)	1:28	RFQ高出力運転不可
	11/27(月)	0:16	PCダウン
	11/29(水)	2:30	FCN102故障
	11/30(木)	1:08	HECガス切れ及びRFQ放電
	12/07(木)	1:00	DTL HPA PLT電源故障
	12/20(水)	1:10	DTL IPA PLT D FAN故障
主加速器上リング			
	11/13(月)	3:05	ANP-パワーセンサ異常
	12/07(木)	2:04	FCN15B故障
主加速器下リング			
	11/02(木)	7:17	RF計算機故障
HEBT 上・下			
			故障計上なし



## Contents



### Feature of the Heavy Ion Therapy

#### - Results of the Clinical Trial

#### -Operation of HIMAC

- Key-technology for good stability and reliability
- Irradiation system, requirements

#### - Topics on Technology

- Irradiation with respiratory gate
- 3-D irradiation with broad beam
- 3-D spot scanning