FFAG加速器：開発の歴史

1952年：強収束加速器(AGS=Alternating Gradient Synchrtron)の原理の発見
その後、現在に至るまで、建設された高エネルギー加速器は全て「AGSの原理」に基づいている。

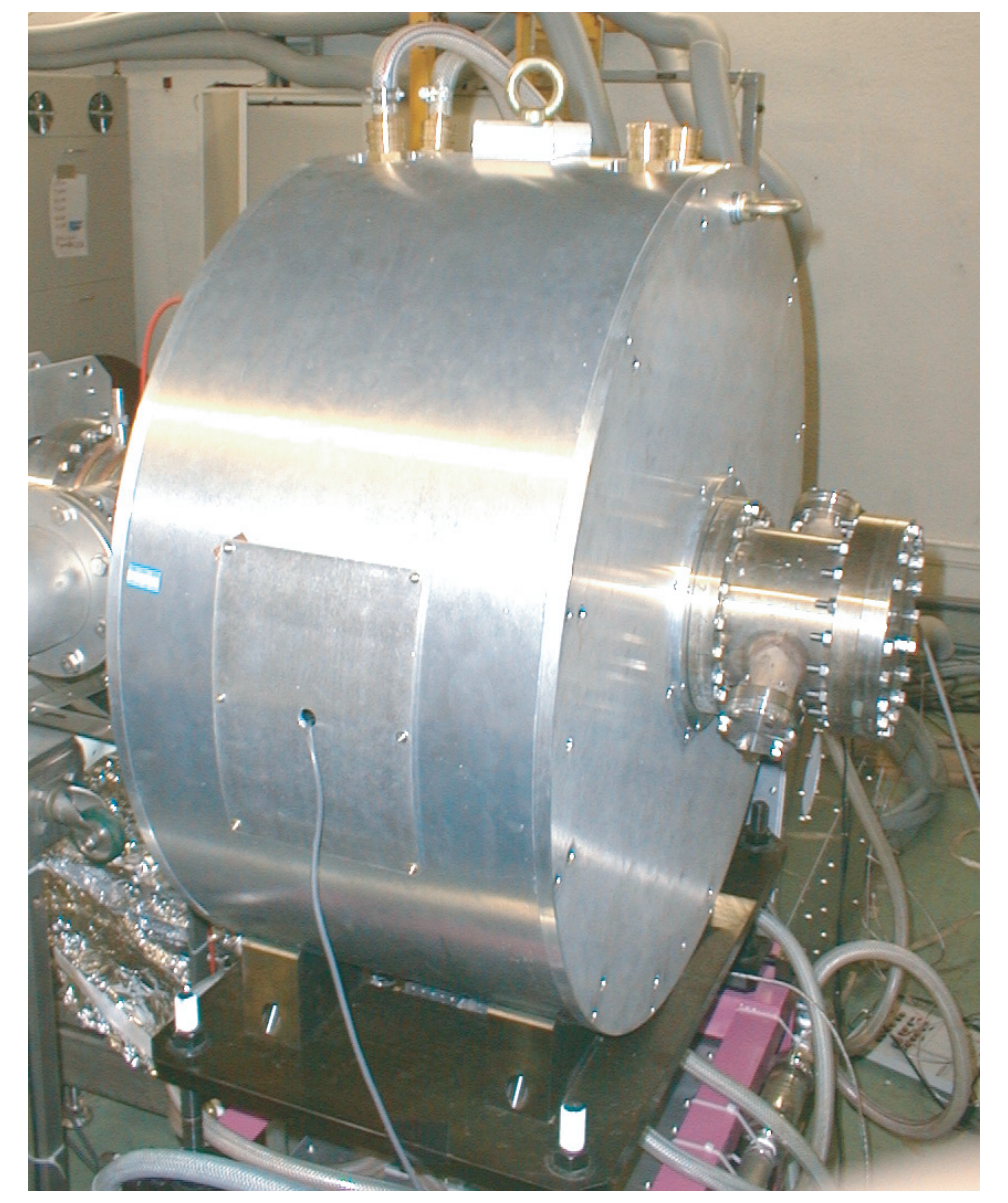
1953年：FFAG(Fixed-Field Alternating Gradient = 固定磁場強収束)加速器原理の発明
発明者：大河千弘博士（元東京大学・助教授→米国、ジェネラル・アトミックス社）

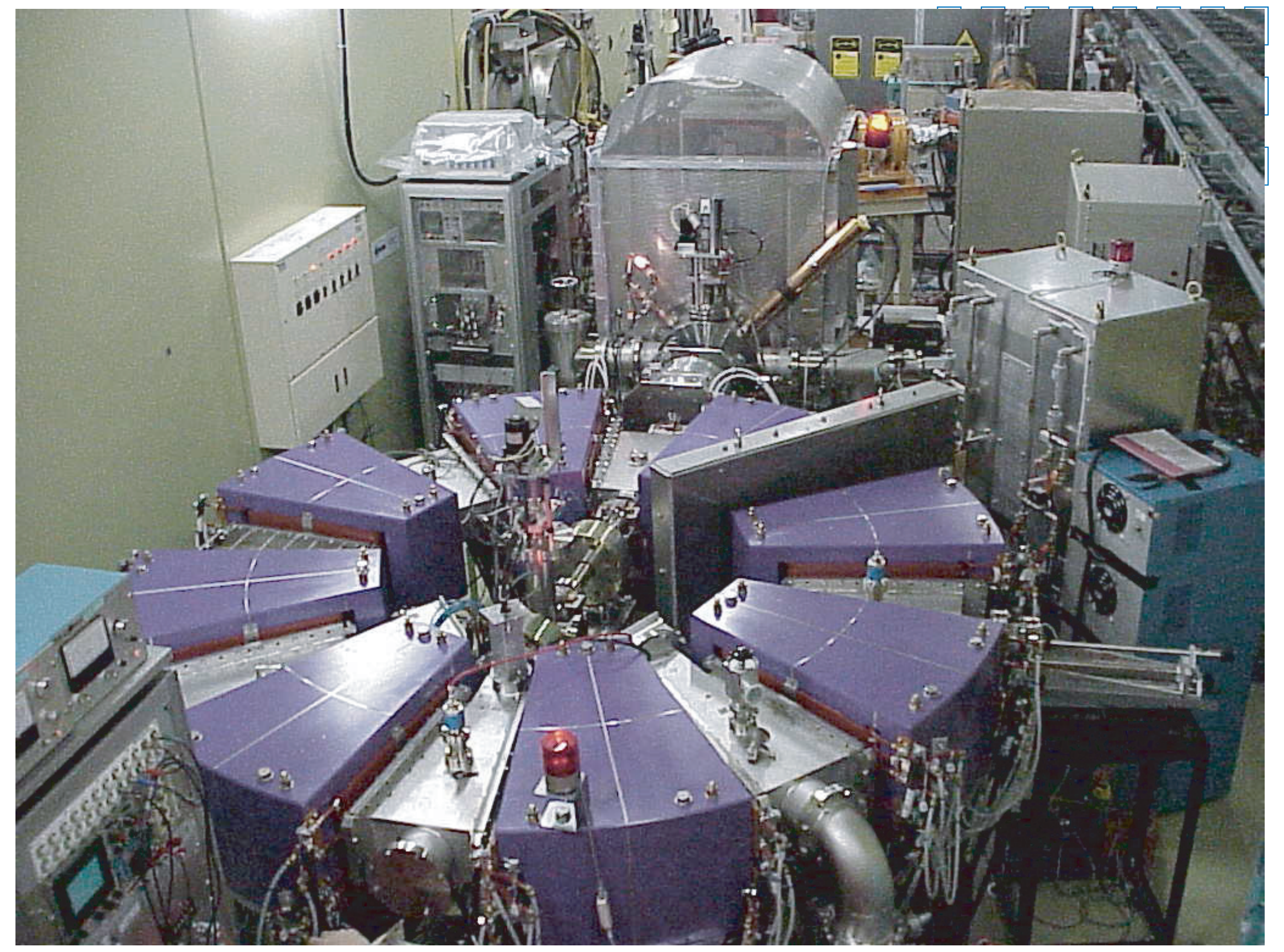
○電子FFAG加速器は、MURA(Midwest Universities Research Association
= 米国中西部大学連合)がデザイン研究の後、製作(1960年頃)

○陽子の加速については、技術的問題点からFFAGでは困難 → 実現できない。
【技術的問題点とは？】
① 磁場形状が複雑で設計が困難 → 3次元磁場解析コードの登場で可能

② 「広帯域」かつ「高加速電場」で「高繰り返し」
が実現できる高周波加速装置が必要不可欠。 → KEK研究グループが開発
［従来技術（フェライト）では無理］

平成9～10年度：科学研究費補助金「基礎研究A」
研究課題：超高透磁率の新素材を用いた
陽子シンクロトロン大強度化の新展開
研究成果：新型高周波加速装置の開発に成功
☆新素材（超高透磁率金属磁性体=ナノメーター結晶体
「ファインメット」)の応用
(1) 広帯域性：１０倍の周波数可変性
(2) 高加速電場：従来の5～10倍


開発した新型高周波加速装置

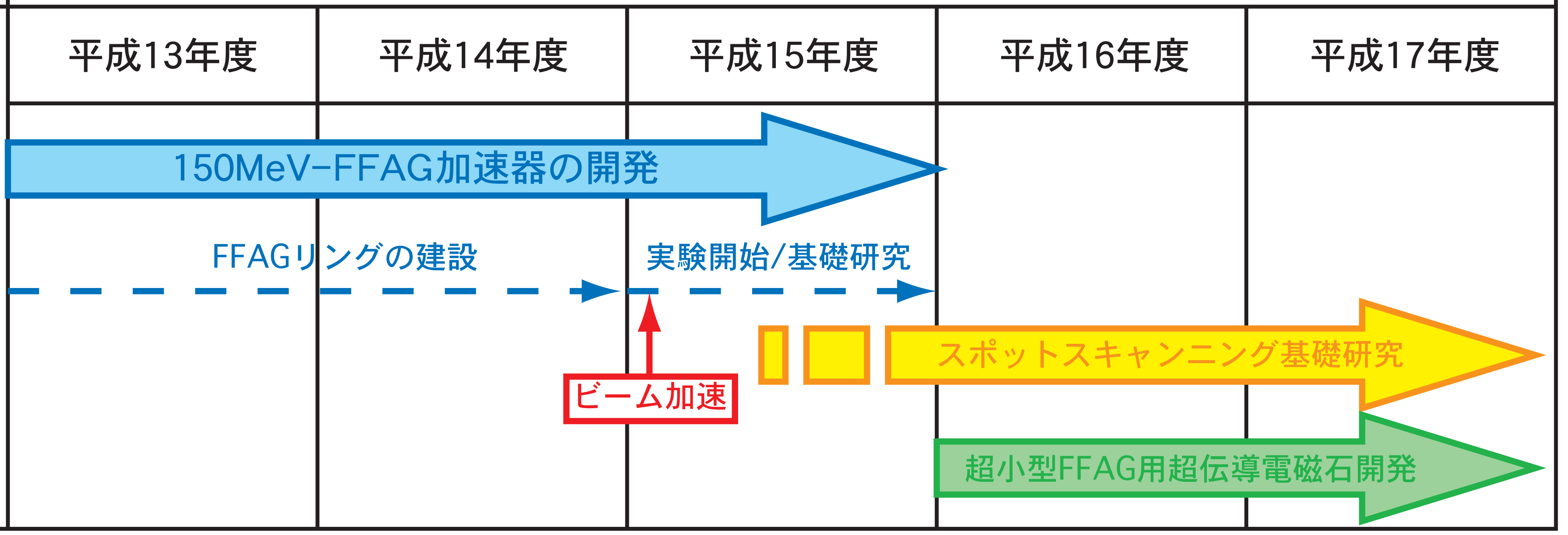

開発した500keV-FFAG原理実証器

平成11～13年度：科学研究費補助金「基礎研究A」
研究課題：高透磁率新磁性体加速空洞を用いた
超高繰り返しシンクロトロンの研究
研究成果：新型高周波加速装置を用いたFFAG加速の原理実証
☆世界で初めて陽子FFAG加速を実現
高繰り返し加速実証：1kHz

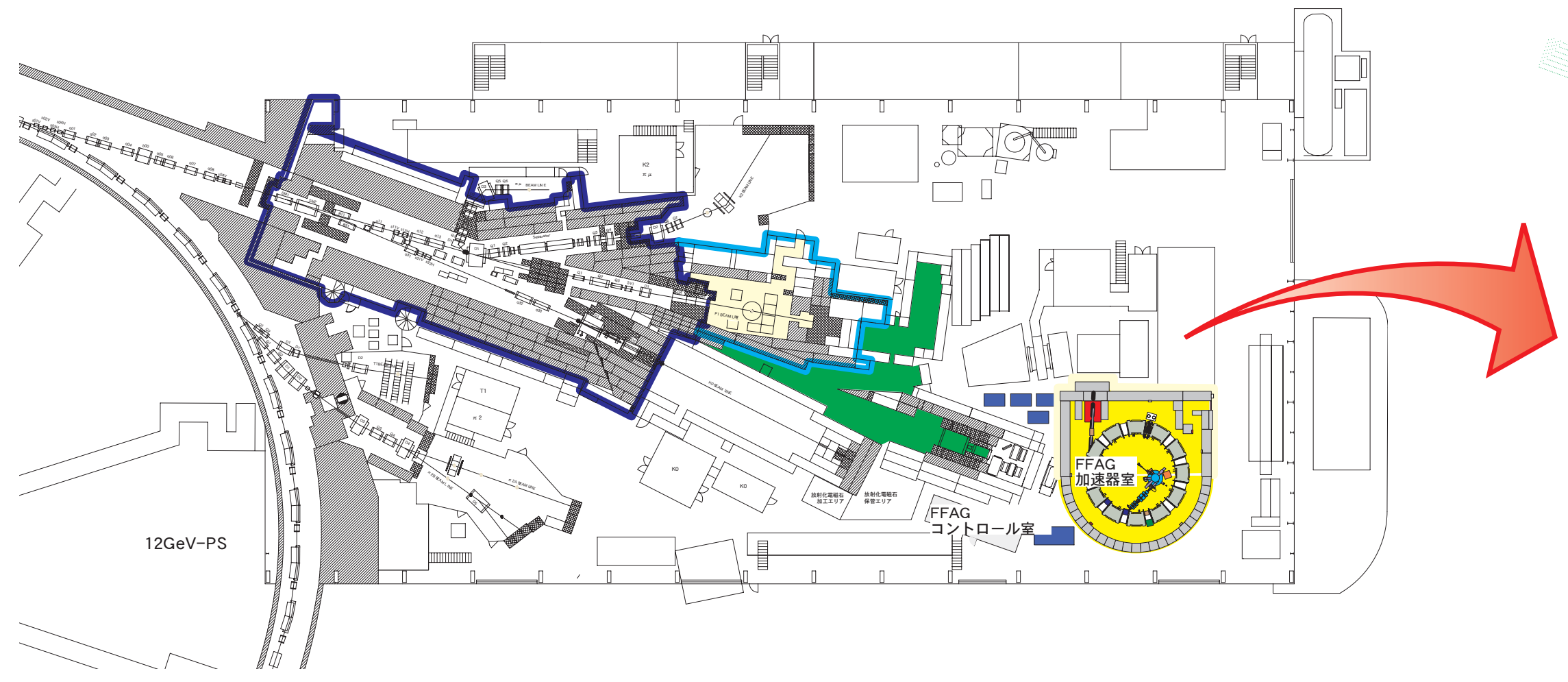
平成13～17年度：科学研究費補助金「学術創生研究費」
研究課題：汎用FFAG加速器の応用と開発
研究目的：医療、環境保全・浄化、先端素材などの
分野におけるFFAGによる「汎用」加速器の新展開

※上記により開発した高透磁率新磁性体加速空洞の技術は、大強度陽子加速器計画に
おける3GeV及び50GeVシンクロトロンにもフィードバックされている。

150MeV-FFAG加速器の概要

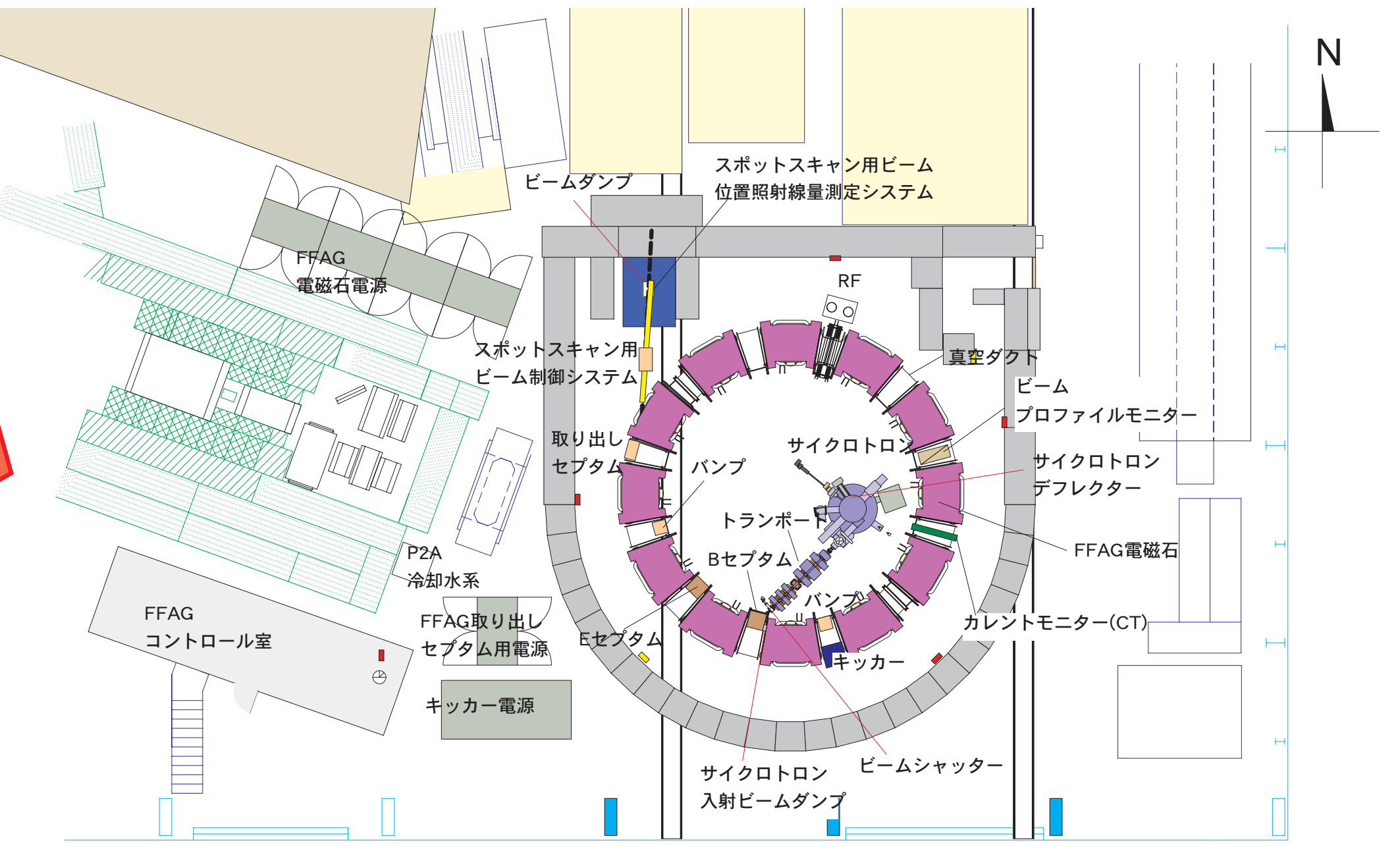
研　究　費	科学研究費補助金（学術創世研究費）　平成13～17年度（５年間）
研究課題名	汎用FFAG加速器の応用と開発
研究代表者	森　義治　（高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設）
研究の概要	医療、環境保全・浄化、先端素材等の各分野における加速器利用の潜在的需要は極めて大きなものがある。しかしながらこれまでの加速器は原子核・素粒子物理の実験装置の域を脱せず、「汎用性」の観点からは著しく問題があった。 この点でほぼ理想的といえる加速器がFFAG(Fixed-Field Alternating Gradient)加速器である。これはサイクロトロンとシンクロトロン両者の長所を併せ持つ極めてユニークな加速器であるが、多くの技術的困難のためにこれまで実用化されなかった。 本研究では陽子を１億５千万電子ボルト(150MeV)まで加速できる汎用FFAG加速器の実用機を開発する。そして、この加速器ならではの高繰り返しパルスビームによる夢のビーム治療技術である点状高速走査治療（スポットスキャンニング）法を開発し、FFAG加速器による「汎用」加速器分野の新展開を図る。
研究計画	

平成13年度
平成14年度
平成15年度
平成16年度
平成17年度
150MeV-FFAG加速器の開発
FFAGリングの建設
実験開始/基礎研究
ビーム加速
スポットスキャンニング基礎研究
超小型FFAG用超伝導電磁石開発



12GeV-PS
FFAG
加速器室
FFAG
コントロール室

KEK:12GeV陽子加速器-東カウンターホール



N
ビームダンプ
スポットスキャン用ビーム
位置照射線量測定システム
FFAG
電磁石電源
RF
真空ダクト
スポットスキャン用
ビーム制御システム
ビーム
プロファイルモニター
取り出し
セプタム
バンプ
サイクロトロン
サイクロトロン
デフレクター
トランポート
Bセプタム
FFAG電磁石
P2A
冷却水系
バンプ
FFAG取り出し
セプタム用電源
Eセプタム
カレントモニター(CT)
FFAG
コントロール室
キッカー
キッカー電源
サイクロトロン
入射ビームダンプ
ビームシャッター
0
10m

150MeV-FFAG実験室概要図

150MeV-FFAG Parameters

energy		12MeV -> 150MeV
field	F	0.34 – 1.63 T
	D	0.15 – 0.78 T
tune	F	3.69 – 3.8
	D	1.14 – 1.3
filed index		7.6
mean radius		4.47 – 5.2 m
rapetition rate		250MHz
revolution freq.		1.7 – 4.6 MHz
current		40 nA
RF peak voltage		19 kV