

KEKにおける原子核物理の ロードマップ

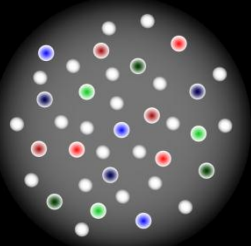
2012. 7. 29

核物理委員会

宇宙における物質(クォーク多体系)の起源と進化

温度

ビッグバン
(初期宇宙)



T_c
~170 MeV

クォーク・グルーオン・
プラズマ (QGP)

相転移

ハドロン形成
(質量獲得, クォーク閉じ込め)
の謎

ハドロン
バリオン メソン



元素合成

恒星

H, He → Fe

中性子星

高密度クォーク・ハドロン
物質の謎

クォーク星?

ウランにいたる
元素合成の謎

相転移
重力圧縮



sクォーク出現

密度

クォーク物質
(カラー超伝導)

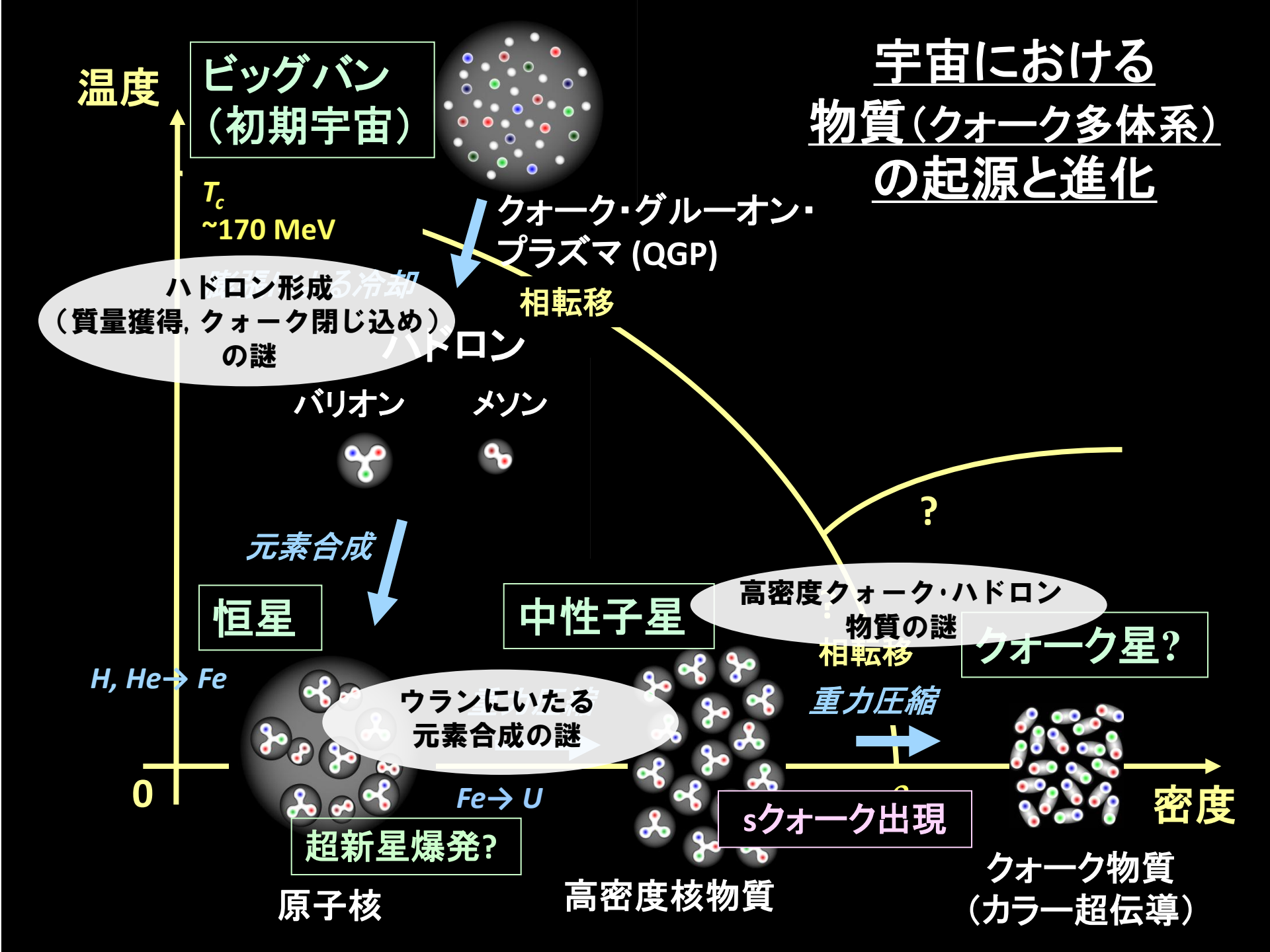
超新星爆発?

原子核

高密度核物質

0

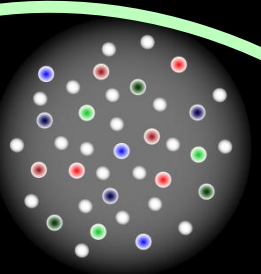
Fe → U



宇宙における物質(クォーク多体系)の起源と進化

温度

ビッグバン
(初期宇宙)



T_c
~170 MeV

クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)

相転移

高エネルギー
原子核衝突実験
(RHIC@BNL, LHC@CERN)

ハドロン形成の冷却
(質量獲得, クォーク閉じ込め)
の謎

ハドロン物理
(J-PARCハドロン施設)

原子核衝突実験
(J-PARC重イオン加速)

元素合成

不安定核・天体核物理
(理研RIBF + KISS)

中性子星

高密度クォーク・ハドロン
物質の謎
クォーク星?

$H, He \rightarrow Fe$

ウランにいたる
元素合成の謎

ストレンジネス核物理
(J-PARCハドロン施設)

0

$Fe \rightarrow U$

sクォーク出現

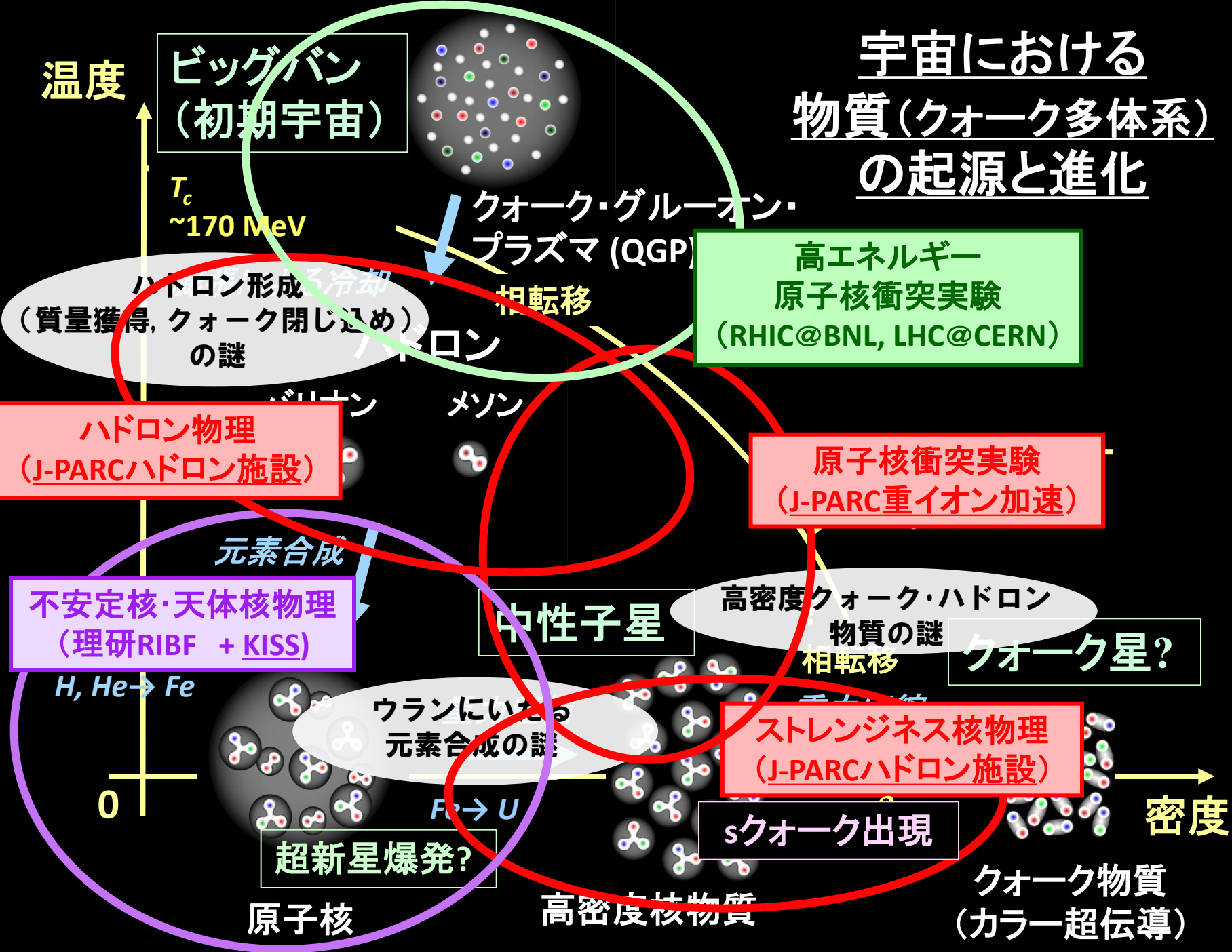
密度

超新星爆発?

原子核

高密度核物質

クォーク物質
(カラー超伝導)



KEKにおける原子核物理のロードマップ【概要】

- 今後5年間の原子核コミュニティの最優先課題として、J-PARCハドロン施設に一次陽子・高運動量ビームラインを建設し、ハドロン実験施設の拡張に着手する。
- 現在進行中の天体核物理プロジェクト(KISS)を理研と連携して推進する。
- J-PARCの ストレッチャーリング建設、重イオン加速の可能性について検討する。

KEKにおける原子核物理のロードマップ

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
KISS実験施設*		建設中		実験							
ハドロン施設整備・高度化	新一次陽子・高運動量ビームライン	建設									
	ハドロン質量起源説明	準備			実験						
	ハドロン内部構造探索	設計		準備			実験				
	核子構造研究	設計		準備			実験				
	ハドロンホール拡張*	設計			建設						
	K1.8/K1.8BR: ストレンジ核(S=-1→-2)				実験						
	K1.1: ストレンジ核(S=-1)	準備		実験		準備		実験			
	HR: 高分解能ストレージ核分光				準備			実験			
K10: ストレンジ(S≤-2)・チャームのハドロン・核				準備			実験				
ストレッチャーリング		調査・検討							設計・建設		
重イオン加速器		調査・検討							設計・建設		

予算など

共同利用の運転・維持経費(4500万円/年)
phase 2の前段ビームフィルター 6~8億円

概算要求 2013-2015 20億円(ビームライン分)
+20億円(COMET分)

総額136億円(+KL 15億円?)

現有(現ホール内)
現ホール内に設置後、拡張部分に移動

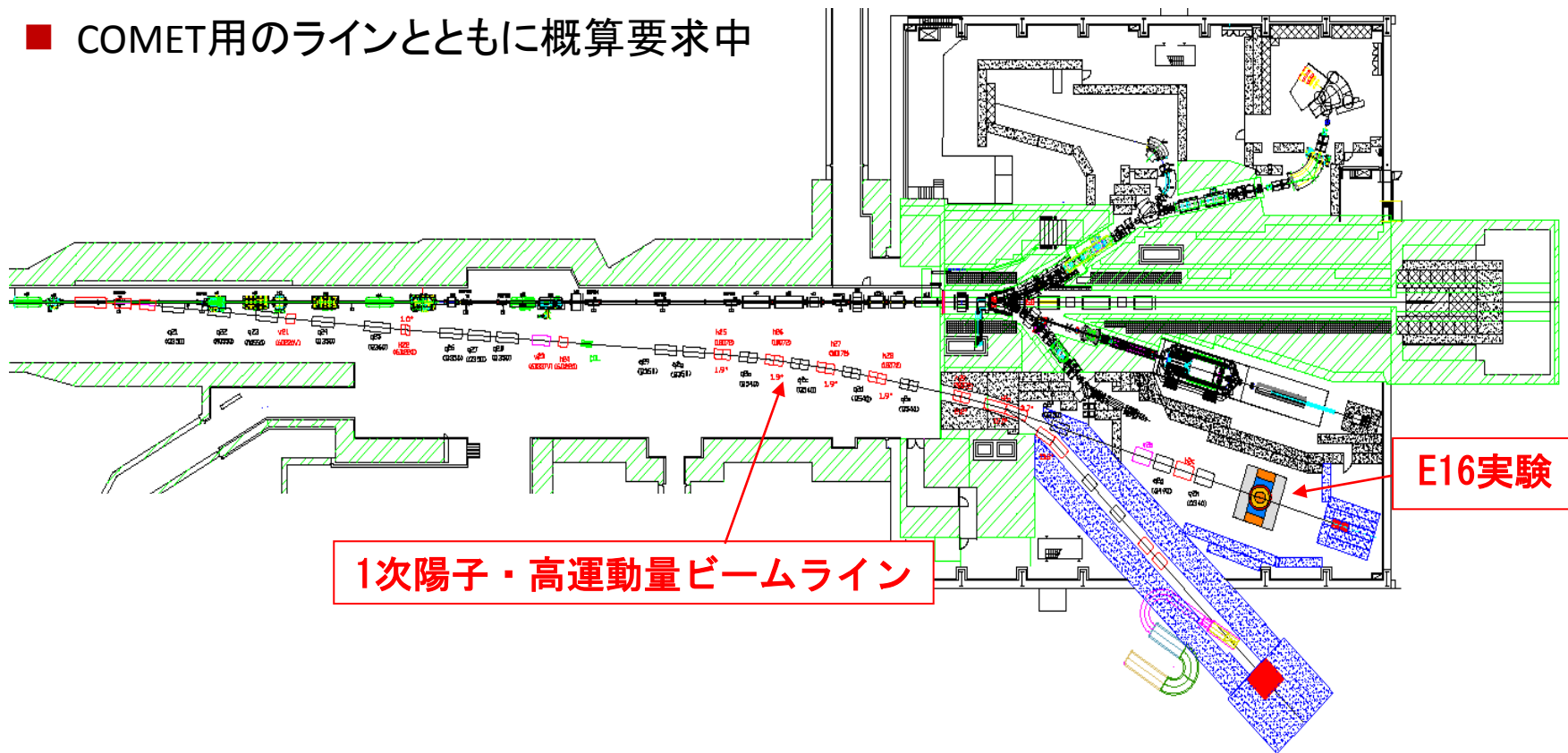
200億円(新規トンネルの場合500億円)

30~50億円

* 他機関との連携研究

一次陽子・高運動量ビームライン

- ハドロン施設のスイッチヤード上流部で陽子ビームの一部を分岐
- 分岐部に2次粒子生成標的を設置し、新設ビームラインに高運動量2次ビームラインとしての機能を加える
- ハドロン物理(質量起源、ハドロン構造)を本格的に展開
- COMET用のラインとともに概算要求中



一次陽子・高運動量ビームラインでの物理

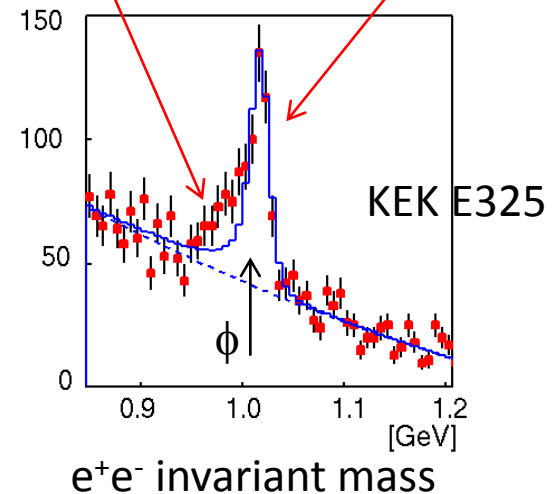
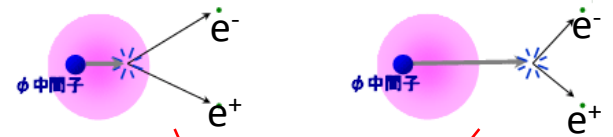
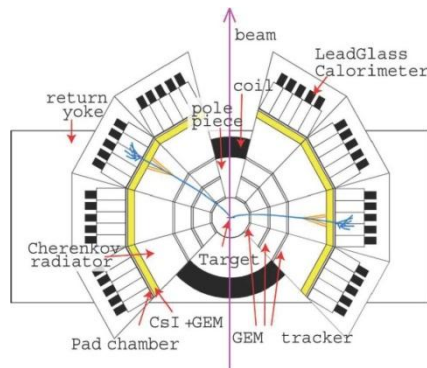
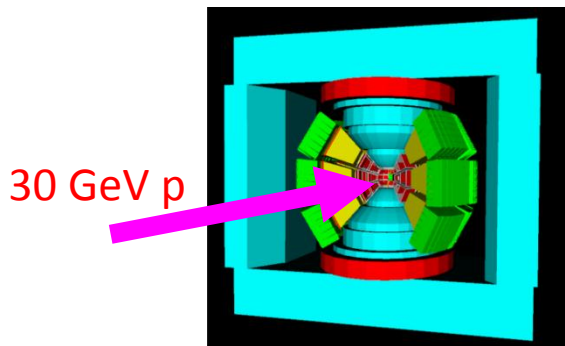
■ ハドロンの質量起源の解明

カイラル対称性の部分的回復により、原子核内でハドロン質量が軽くなる

→ 質量起源の初めての実験的証拠に

KEK-PSの実験で示唆あり

E16実験: 核内での ϕ メソンの不変質量を精密測定



■ ハドロン構造の理解

チャームバリオンの励起状態の高分解能分光

→ クォーク間相関が弱いcクォークを用い、

u, dクォークのハドロン内相関を浮き彫りにする

分散整合ビームラインと新規スペクトロメータで、従来の10倍の質量分解能で測定

■ 核子のクォーク・グルオン構造とスピンの起源の解明

Drell-Yan過程、heavy-flavorや直接光子生成過程 -> sea quark ($u^{\text{bar}}, d^{\text{bar}}$)分布, spin構造
COMPASS (CERN)、RHIC (BNL)、SeaQuest (Fermilab) と異なる運動学領域(X_2)

ハドロンホール拡張計画

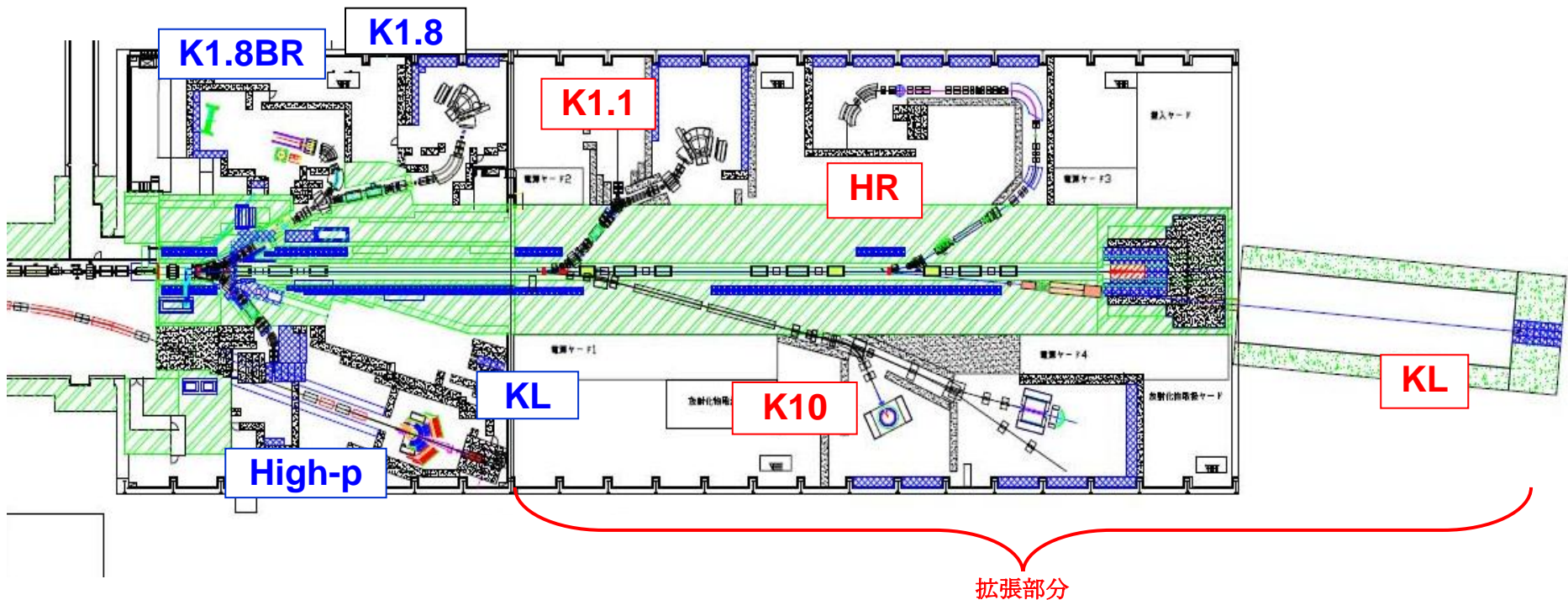
ハドロン施設の面積を拡大

第二、第三標的と4本程度の二次ビームライン設置

-> 実験の同時実施による研究効率の向上

(多数の採択済実験の待ち行列を解消、新規提案に対応)

-> 新ビームラインによる新しい研究の展開



ハドロンホール拡張による物理

■ **K1.1ライン** 0.5~1.1 GeV/c K^- , SKS設置
 $S=-1$ のハドロン多体系

Λ 核の γ 線精密分光、弱崩壊過程、
 Σ -原子核系の分光、 Λ, Σ -核子散乱

■ **K1.8/K1.8BR ライン(現有):** 1~2 GeV/c K^-
 $S=-2$ のハドロン多体系

Ξ 核, Ξ 原子, $\Lambda\Lambda$ 核, Hダイバリオン, Ξ -核子散乱

→ バリオン間相互作用、高密度核物質
 核内バリオン性質変化

■ **K10ライン:** 3~10 GeV/c K, p^{bar}

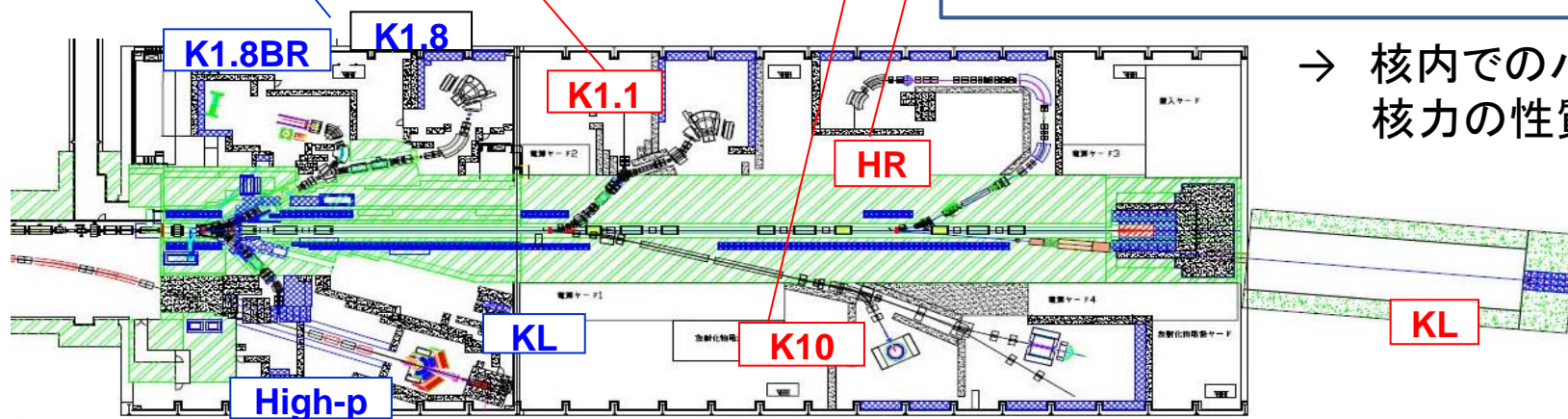
$S=-2, -3$ バリオン(Ξ, Ω)の励起状態、
 グルーボール等のエキゾチック粒子、
 σ メソンの核内崩壊、
 核中でのDメソン, $\eta_c, J/\psi$ の相互作用、
 複数のKを含む高密度原子核

→ クォーク閉じ込め、質量獲得機構

■ **HR:** 運動量分散整合型 1~2 GeV/c π

広い質量数の Λ 核・中性子過剰 Λ 核・
 Σ 原子-原子核ハイブリッド状態等の
 高分解能(~ 200 keV FWHM)分光、
 ハイパー核の磁気モーメント測定

→ 核内でのバリオンと
 核力の性質変化



将来のJ-PARC加速器高度化

■ ストレッチャーリング

- 速い取出し(ニュートリノ実験)と遅い取出し(ハドロン実験)の同時実施
- 遅い取出しビームのduty factor(取出し時間の割合)が100%近くまで向上
- 電源リップルに起因する現状のスピル構造が大幅に改善

→ ハドロンホールの実験時間が大幅増加、効率的な加速器運転

- ハドロンホール拡張後の建設着手にむけて、検討を進め、計画の策定、技術開発を行う。

■ 重イオン加速

- 15~25 GeV/Aの重イオン衝突で、実験で到達可能な最高密度のクォーク・ハドロン物質が生成 → QCD相図の高密度領域を探索
- 入射用専用重イオン加速器の建設、高能率重イオン源の開発、現加速器の原子核加速への対応 が必要
- 検討を開始。一次陽子・高運動量ビームラインの実験からフィードバック。

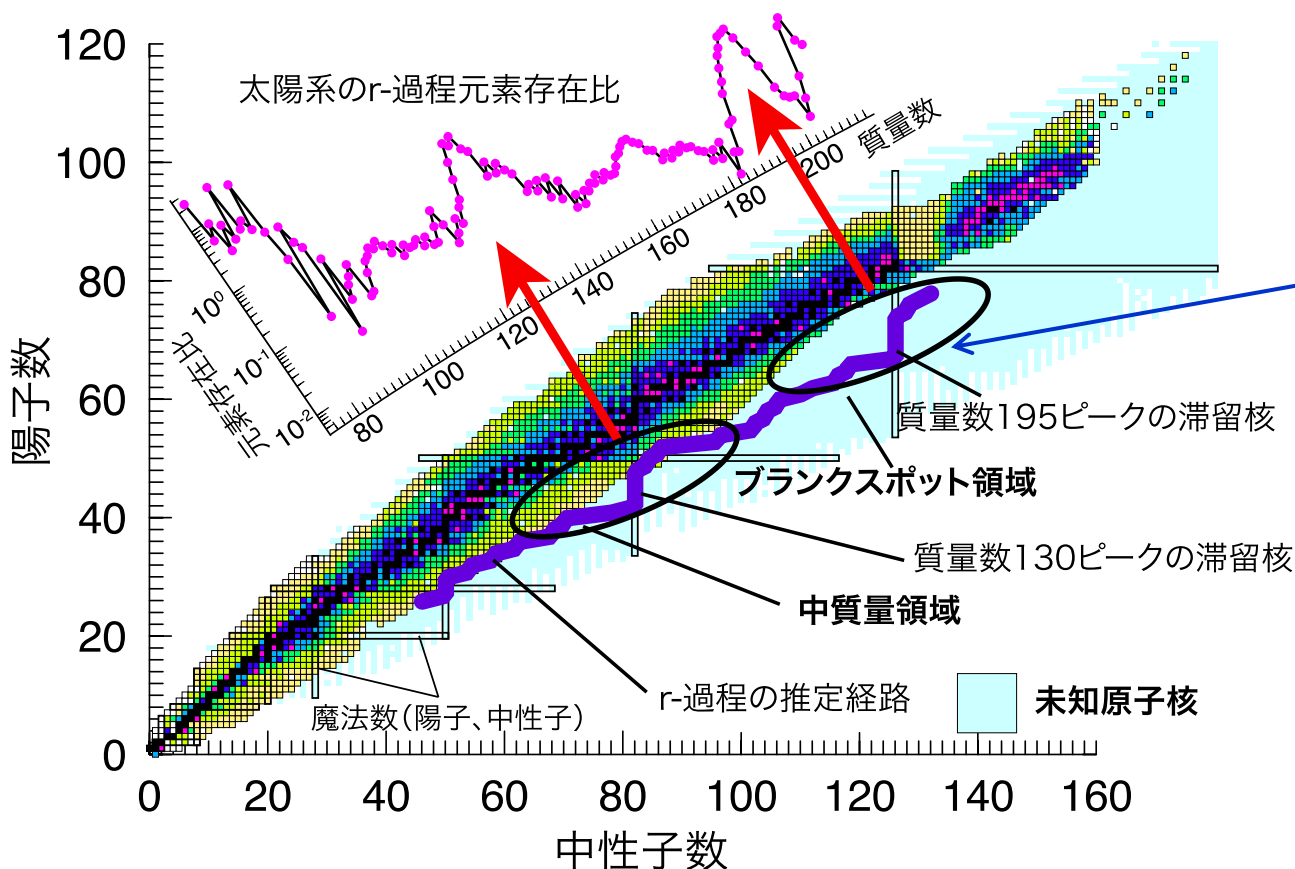
天体核プロジェクト(KISS)

ウランにいたる重元素の起源の解明

- r-process(速い中性子捕獲過程)シナリオは本当か？

= 高い中性子密度環境で中性子過剰核を経由して一気に合成

- 合成が行われる天体(環境)はどこか？



合成過程に関わる中性子過剰核の半減期、質量、励起状態、崩壊様式、中性子捕獲断面積などの知識が欠如(特にA=195ピークの滞留核)

データなし、中性子過剰のため理論的推測も困難



重要な中性子過剰核を原子核反応で生成し、これらを測定

理研RIBFのビームを用い共同研究として進める

天体核プロジェクト(KISS)の進め方

- 第一段階 (2010年~2014年度、国際レビューを受けてスタート)
 - KISS (KEK Isotope Separator System; 元素選択機能を持つ質量分離装置)を製作、理研RIBFに設置
 - 中性子数 $N=126$ 近傍の未知の中性子過剰核を多核子移行反応で生成、半減期や質量などの測定から、この領域での理論予測精度を向上
- 第二段階
 - RIBF次期計画による増強後、大強度中性子過剰核ビーム(^{140}Xe 等)使用
 - $A=195$ ピークの滞留核を直接生成、半減期や質量を測定
 - KISS前段にガス充填型高立体角ビームフィルター設置、 $N=184$ の超重元素の探索などの重要テーマにも利用
- 共同利用実験方式
KEKがRIBFに独自の装置(KISS)を設置、共同利用実験を行う
(KEKが課題募集、PACを理研と共同開催)

