

KEKにおける原子核物理のロードマップ

2012. 8. 15

核物理委員会

はじめに

現在の物理学では、素粒子クォークの存在とそれが従う力学 QCD は確立しているが、さまざまな温度・密度のもとでクォーク多体系がどのような性質の「物質」となるのか、という基本的な問いには、まだ我々はほとんど答えられない。QCD を解いてこれに答えることは、特別な場合を除き極めて困難である。宇宙ではビッグバン後にまず高温のクォーク・グルーオン・プラズマが生じ、宇宙膨張による冷却とともにハドロン（核子）が生まれ、恒星中で様々な原子核が生成し、超新星爆発時に重い原子核が作られるとともに中性子星中で高密度核物質さらにはカラー超伝導相のクォーク物質が生成する、といった予想がされているが、それぞれの物質の性質や相互変化のメカニズムは謎だらけである。こうした多様なクォーク多体系に対し、QCD に裏打ちされた首尾一貫した理解を得ることが、現代の原子核物理学の目的である。

特にこの中でも、低温・低密度状態でクォークが閉じ込められるとともに大きな質量を獲得してハドロンが作られる仕組みは、ハドロンから原子核、原子・分子へと進む宇宙での物質形成過程の出発点に横たわる基本的な謎である。また、こうして核子が生成しさらに原子核が作られる過程においても、核子自体の性質・構造がよく理解されていないことや、原子核形成を支配する核力の独特の性質が理解されていないという大問題が横たわっている。こうした問題に取り組み、「素粒子物理学」と、核子・核力から始まり原子核、原子分子、凝縮物質へと連なる「物質科学」との間の missing link をつなぐことが、世界の核物理研究者が期待する J-PARC ハドロン施設の役割である。さらに、こうした研究によって低温高密度での核物質やクォーク物質の理解も進展し、中性子星内部に存在するような、電子がなくクォークのみから作られた物質を対象とする新しい科学が拓かれる。

こうした状況のもとで、J-PARC は以下の基本的な問いに答えることが期待されている。

- クォークの閉じ込め機構、およびハドロンの質量獲得機構の理解
- 励起状態を含む様々なハドロンの一貫した理解
- 核子のクォーク・グルーオン構造やスピンの起源の理解
- バリオン間相互作用(核力)の理解
- 広い密度と粒子組成比の核物質（ハドロン物質）の状態方程式の決定
- 低温高密度クォーク物質の手がかりとクォーク多体系相図の決定への寄与

また、核子と核力を出発点として核子多体系を扱う従来の原子核物理学では、中性子・陽子過剰核等を含む多彩な原子核の統一的理解を目指すとともに、宇宙での元素合成過程の謎や超重元素の存否など、物質科学の基本的な問題の解明に取り組んでいる。こうした研究においては、理研の RIBF が世界を主導している。KEK が RIBF のビームを用いて実施する KISS プロジェクトは、特に天体での元素合成過程に関係する原子核の研究を推進し、

- 原子核の存在領域の確定と中性子・陽子過剰核を含む核構造の理解
- 元素合成の全過程の解明、とくにウランに到る重元素の合成過程の理解

に答えることを目指している。

KEKにおける原子核物理のロードマップ【概要】

機構として進めるべき主要プロジェクトの一つに J-PARC があり，原子核コミュニティでも，そのハドロン実験施設を用いて，ストレンジネス核物理やハドロン物理の研究において成果を挙げるべく最大限の努力をしている。

これからの5年間では，原子核コミュニティの最優先課題として，**新一次陽子・高運動量ビームラインを建設**し，さらに**ハドロン実験施設の拡張に着手**する。これらにより，ハドロンの質量起源の謎やクォーク閉じ込め機構の解明，バリオン間力の統一的理解や高密度核物質の理解へ向けた研究を，理研や阪大核物理研究センター等と連携して原子核コミュニティをあげて強力に進める。これにより，J-PARC ハドロン実験施設は，世界をリードするハドロン・原子核研究の拠点施設として世界の研究者からの期待に応えることができる。

また，現在装置製作が進められている**天体核物理プロジェクト (KISS)**を理研と連携して推進する。

将来的には，J-PARC をさらに高度化したい。素粒子分野とも協力して，ビーム強度を増強し，**ストレッチャーリング**を建設して大強度の遅い取り出しビームを効率よく使用するための検討を進める。また，国際情勢を見ながら**重イオン加速**などの新しい可能性についても検討を進める。

以下にこれらの計画のおおまかな時間スケールを示す。

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	予算など	
KISS実験施設*		建設中		実験								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
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								概算要求 2013-2015 20億円(ビームライン分) +20億円(COMET分)
	ハドロン質量起源解明			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								総額136億円(+KL 15億円?)
	K1.8/K1.8BR: ストレンジ核(S=-1→-2)					実験						現有(現ホール内)
	K1.1: ストレンジ核(S=-1)	準備		実験		準備		実験				現ホール内に設置後、拡張部分に移動
	HR: 高分解能ストレンジ核分光					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				200億円(新規トンネルの場合500億円)
重イオン加速器				調査・検討				設計・建設				30~50億円

* 他機関との連携研究

新一次陽子・高運動量ビームラインを用いた計画

現状のハドロンホールにおいては、ストレンジネスを含むバリオンやメソンを原子核に導入し、ストレンジネスを含む原子核やハドロン多体系の性質を調べることによって、原子核や核物質を核子多体系でなくハドロン多体系として理解する研究が進んでいる。また、ペンタクォーク探索のように、ストレンジネスを利用したハドロン構造の研究も行っている。

これに対して、ハドロンの成り立ちを解明する新たなアプローチとして、有限な密度を持つ原子核中でのハドロンの性質変化を調べるという方法があり、原子核中でのベクトル中間子質量の直接測定によるハドロン質量獲得機構の研究が、建設計画中の**新一次陽子ビームライン**を用いて推進されようとしている。

この世界の物質の質量、すなわちハドロンの質量の大部分は、南部理論にもとづき、軽いクォークがカイラル対称性の自発的破れによって大きな質量を獲得することで生じていると考えられている。しかし、その実験的な証拠はまだ存在しない。その考えが正しければ、原子核中においては、カイラル対称性の破れが密度効果により部分的に回復することが理論的に予想され、それにより原子核中でのベクトル中間子の質量変化が予想される。推進中の実験（**E16 実験・Stage1 採択**）では、原子核中でのハドロン質量の変化を観測し、ハドロン質量起源に対する基本的な知見を得る。数 $10 \text{ GeV}/c$ のハドロンビームを様々な質量の原子核標的に入射して ϕ 等のベクトル中間子を生成し、核内で中間子が電子対崩壊した事象を高統計で測定する。そのためには、大強度の 30 GeV 一次陽子ビームと、それに対応した検出器の建設・開発が必須となる。

ビームライン設計は、詳細まで含めて検討済みである。また、**E16 実験**の検出器開発は、ほぼ終了しており、今年度末より本格的な検出器建設を進める予定である。概算要求による予算獲得に成功次第、3年間でビームラインを建設し、最速で2016年より実験研究を開始する。

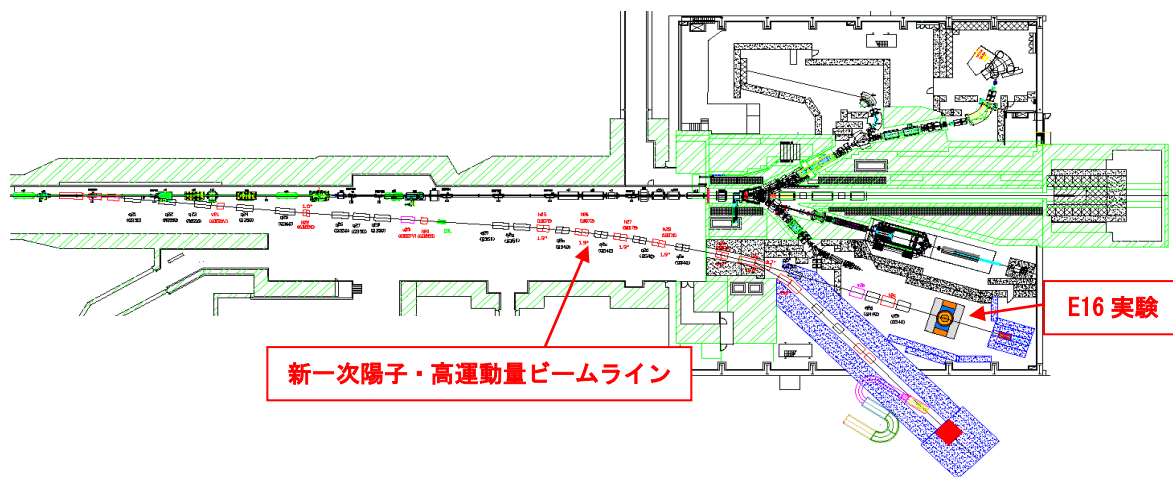
ハドロン物理のもう一つの大きな課題であるハドロン構造の理解に関しても、同ビームラインを用いた新たな実験的アプローチが提案されている。

核子を含む軽いハドロンは、素朴な構成子クォークモデルによりよく記述される事が知られていたが、近年の研究により、ハドロンの励起状態にはこうしたクォークモデルの予想に反する実験結果が多くある事が明らかになってきた。これは、ハドロン内部構造に対する我々の理解が不十分である事を示している。

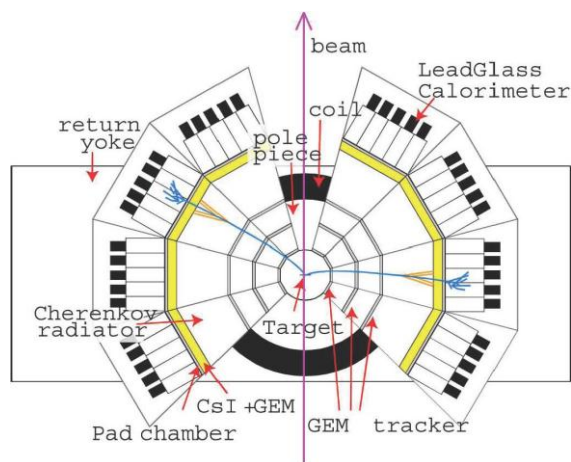
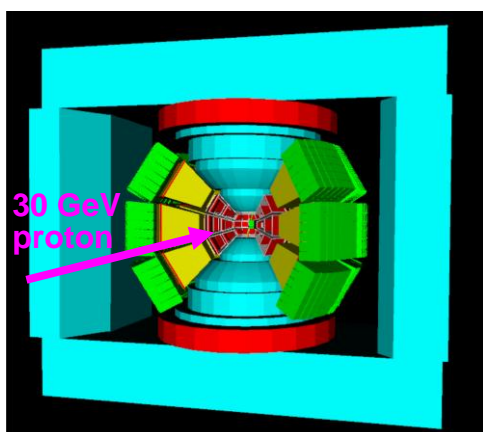
この状況を打開する新たなアプローチとして、チャームを含むバリオンに注目した実験を行う提案が核物理委員会将来計画検討 **WG** ハドロン物理部会での議論を通じてなされた。チャームを含むバリオンは、チャームクォーク自身の重さにより、軽いクォーク間の相互作用による励起とチャームクォークとの相互作用による励起が容易に区別できる。そのた

め、その励起準位を詳細に調べる事により軽いクォーク間の相関、特にダイ・クォーク相関に関する新たな知見が得られると期待できる。

新一次陽子ビームラインの分岐部に二次粒子生成標的を設置し、新設ビームラインに高運動量二次ビームラインとしての機能を加えることで、チャームバリオン生成に必要な高い運動量と十分な強度をもつ中間子ビームを得ることができる。また、分散整合を用いたビームライン光学の設計と新規スペクトロメータの開発により、従来より10倍優れた質量分解能を持つ測定を行う。高運動量用の本ビームラインと実験装置を用いると終状態にベクトル中間子を伴う励起バリオンの分光実験も可能になる。終状態に擬スカラー中間子を伴う過程を調べていた従来の実験に比べ、反応機構が単純であるため励起バリオンの新たな研究手法として注目が集まっている。



図：新設する一次陽子・高運動量ビームライン



図：E16 実験装置

ハドロン，とくに核子のクォーク・グルーオン構造やスピンの起源の QCD に基づいた理解も重要なテーマである。Drell-Yan 過程や，重いクォーク生成過程，直接光子生成過程の高精度測定を陽子ビームや π ビームを用いて行い，核子の内部構造の 3 次元的な理解を目指す。

現在，COMPASS 実験 (CERN)，RHIC 実験 (BNL)，SeaQuest 実験 (Fermilab) において Drell-Yan 実験の計画，準備が進行している。J-PARC ではこれらの実験よりも低エネルギーのビームを用い，他の実験とは異なる運動学的領域をカバーする提案 (P04) がなされている。母体となった実験グループは SeaQuest 実験を 2015 年までの予定で行っており，その後実験装置を J-PARC の一次陽子ラインに移設してより低いエネルギーでの実験することを計画している。SeaQuest 実験や他の進行中の実験の結果によっては，新一次陽子・高運動量ビームラインでの Drell-Yan 実験の必要性が今後高まる可能性がある。

以上のように J-PARC に新たな魅力を付け加える多彩なハドロン物理の展開が可能な新一次陽子・高運動量ビームラインで継続的かつ系統的な研究を実現するために，国内外の大学・研究機関との共同研究体制を確立する。また J-PARC 理論センターや基礎物理研究所などの国内外の理論研究施設とも連携して研究を進める。

ハドロンホール拡張計画

J-PARC ハドロンホールは、ハドロンビームを用いた多彩な実験を通して、クォークから「物質」が生成する謎に答えることを目指す世界でもユニークな施設である。様々なエネルギーの 2 次中間子ビームや 1 次陽子ビームを用いて、クォークの閉じ込め機構、ハドロン質量の起源、ハドロンの構造、バリオン間相互作用、核物質の状態方程式、高密度核物質やクォーク物質の性質などの基本的問題の解明に取り組む。そのための柱の 1 つは、エキゾチックハドロン（グルーボール、テトラ・ペンタクォーク、**H** ダイバリオン等）と ハドロン励起状態 の探索によるクォーク閉じ込め機構とハドロン構造の理解を目指す研究であり、もう 1 つの柱は、核内ハドロン（ σ , η , η' , ϕ , **K** 等の中間子を含む原子核、ハイペロンを含むハイパー核）の実験によるハドロンの性質変化と相互作用、ハドロン多体系の研究である。これまで、ハドロン・原子核は原理的理論計算では扱えないものと考えられていたが、近年、格子 QCD 計算手法の進展と超高速計算機の実現により、実験と原理的理論計算との直接比較が可能となってきた。それによって実験計画の策定や実験データの解釈が明確になり、ハドロン物理の研究戦略に新しい方向性が生まれつつある。

ハドロン・原子核研究では、少数の実験を実施しても答えに達することは難しく、上記の様々な実験を多角的に進める必要がある。現在のハドロンホールでは低エネルギー分離荷電粒子ライン(K1.8/K1.8BR)において、ストレンジネスを 1 つまたは 2 つ含む原子核・ハドロン多体系や、ストレンジネスを含むエキゾチックハドロンの研究を進めつつある。PAC により Stage 2 まで採択された実験課題が 11 件あり、そのうち「Day1 実験」として採択された課題も 5 つ (E05, E13, E15, E17, E19) あるが、これまでにわずか 1 課題(E19)が実施されたのみである。この原因は、これまでに遅い取り出しが行われた総時間数が少ないことと、極めて非効率なハドロン施設の現状にある。現ハドロンホールでは原子核ハドロン用の 1 本の荷電粒子ビームライン(K1.8/K1.8BR, 最大運動量 2 GeV/c)と稀崩壊実験用の中性 **K** 中間子ビームラインが使用できるのみであり、貴重なビームタイムをほぼ独占しなければ研究が出来ない。スペースも狭く、様々な大型測定装置を設置・移動するにも困難がある。前述のように、一次陽子・高運動量ラインを建設して核内ハドロンの質量変化やチャームハドロン分光の研究を開始したいと考えているが、このラインが完成すれば建屋は一層手狭となり、必要とされる別タイプのビームラインを設置することはできなくなる。

そのため、現ハドロン施設を拡張し、ビームラインを増設して多数の実験を並行して効率よく実施する必要がある。ハドロンホールの面積を、J-PARC の当初計画にあったようなサイズに拡張し、拡張部分に第二、第三生成標的を設置し、それらから下記のような特徴的な二次ビームラインを設置したい。

施設の拡張部分では、以下のような研究を推進する。

- (1) 低エネルギー分離荷電粒子ライン(K1.1: 最大運動量 1.1 GeV/c) は、現在現ホール南側で整備が進んでいるが、一次陽子・高運動量ラインが設置されるとスペースの問題で同

時には使用できなくなるため、これをハドロンホールの拡張部分に移設して、主に $S=-1$ のハドロン多体系の研究 (Λ ハイパー核のガンマ線精密分光や弱崩壊過程の研究, Σ -原子核系の分光, Λ や Σ と核子の散乱実験など) を進め, Λ -核子, Σ -核子の相互作用と核内でのバリオンの性質変化を解明する。これらの実験の多くは採択済である。なお, 現ホールの K1.8 ラインは主に $S=-2$ のハドロン多体系 (Ξ 核と Ξ 原子, $\Lambda\Lambda$ 核, H ダイバリオン, Ξ 核子散乱など) の研究に使用し, 両者で並行してストレンジネスを含むハドロン多体系の研究を推進する。

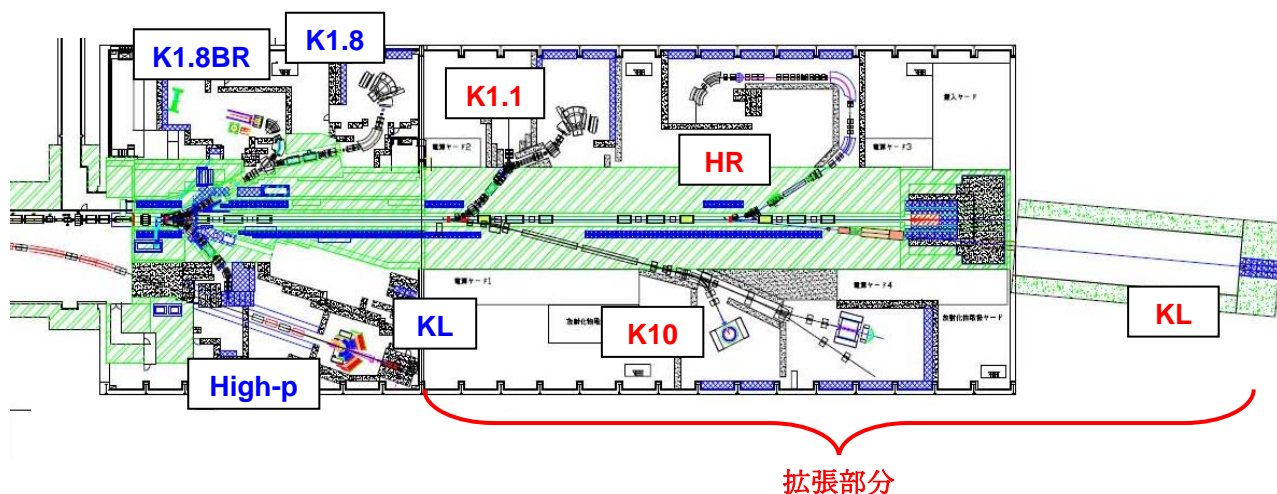
- (2) 低運動量高分解能荷電粒子ライン(HR: 運動量分散整合型, 最大運動量 2 GeV/c 程度) を設置し, π 中間子ビームを用いて, 軽核から重核までの広範囲の質量数の Λ ハイパー核や, 様々な中性子過剰 Λ ハイパー核, Σ 原子-原子核ハイブリッド状態などについて高分解能 (~ 200 keV FWHM) の分光を行う。さらに様々なハイパー核の磁気モーメント測定も行う。そこから, 核内バリオンの性質変化や, 核内でのバリオン間相互作用の詳細を調べる。核内で性質が変化しているはずの核子と核力をどう捉えて原子核を理解すべきかは, 従来の原子核物理学の中に横たわる未解決の根本的問題である。ストレンジネスをプローブとしてこの問題の解決を目指す。
- (3) 高エネルギー分離荷電粒子ライン(K10: 最大運動量約 10 GeV/c) を設置し, 3-10 GeV/c の K 中間子/反陽子ビームを用いて, 低温での QCD 多体系の振る舞いを特徴づける 2つの現象「クォーク閉じ込め機構」と「ハドロン質量獲得機構」の解明を目指す。 $S=-2, -3$ を持つバリオン (Ξ, Ω) の励起状態の探索や, グルーボール等のエキゾチックハドロンの探索, QCD における Higgs 粒子である σ 中間子の核内崩壊による QCD 真空の研究, 原子核中での D 中間子の相互作用の研究によりハドロン中の軽いクォークの役割を分離して調べることで, さらに η_c や J/ψ と原子核との相互作用の測定により核力の中での純粋なグルーオン交換の寄与を中間子交換から分離して研究すること, などが重要課題となる。複数の K 中間子を含む高密度原子核の研究も進める。

なお, さらに第三標的に最適な取り出し角度の 中性 K 中間子ライン も設置すれば, K 中間子稀崩壊の感度を圧倒的に向上させることができる。

ハドロンホールを拡張し, 様々な実験的アプローチに対応可能な多種多様のビームラインを建設することは, 学会会議の大型計画マスタープランに「J-PARC 加速器の高度化による物質の起源の解明」の一部として掲載され, 文科省審議会の作業部会で(a, a)の最高評価を得ている。また, ハドロンホール拡張に伴うビームラインと建屋の概念設計は, 若手を主体としたプロジェクトチームにより新たな視点で進められており, 既に実現可能な案の概略(図参照)が定まっている。実際の建設に必要な期間は3年程度と見積もられている。

本計画に競合するものとして, ドイツにおいて FAIR 加速器の建設が進められており, 2018 年ごろから稼動する予定である。J-PARC ハドロンホールをハドロン物理の世界最高の拠点とするためには, FAIR 加速器の稼動前にハドロンホール拡張を実現させることが不可欠であり, 拡張に一刻も早く取りかかる必要がある。早期実現に資するためには, 既存

の枠組みから一步踏み出し、理研や核物理研究センター等と連携することも検討しつつある。



図：ハドロン施設の拡張案。第二生成標的に、低エネルギー分離荷電粒子ライン(K1.1)および高エネルギー分離荷電粒子ライン(K10)が設置され、第三標的に低運動量高分解能荷電粒子ライン(HR)および中性 K 中間子ライン(KL)が設置される。

将来的な加速器増強計画その1 (ストレッチャーリング)

ハドロン物理学の課題に対して、国際的な競争のもとで十分な成果を上げて行くためには、J-PARC 50GeV 加速器のビームをさらに効果的に用いて実験を進める必要がある。現状の 50GeV 加速器においては、速い取り出しの実験（ニュートリノ実験）と遅い取り出しの実験（ハドロンホールでの実験）は同時には実施できない。そこで 50GeV 加速器と並列にストレッチャーリングを建設し、効率的にビームを利用する環境を整える。

ストレッチャーによって、遅い取り出しビームの duty factor（取り出し時間の割合）が 100% 近くまで向上し、さらに遅い取り出しと速い取り出しの両立が可能となるためハドロンホールでの実験時間を大幅に伸ばすことができる。さらに、電源リップルに起因する現状のスパイル構造が大幅に改善することが期待されるので、実験のデータ収集効率が非常に大きく改善する。

基本的な計画策定、基礎技術の開発などに 6-7 年程度が必要と見積られるが、その効果は大きいので、ハドロンホール拡張計画実現の後に、可及的速やかにストレッチャーの建設に着手することが望まれる。すでに加速器グループ内やハドロンビームグループ、遅い取り出しユーザーチーム間で基本的な設計に対する議論が始まっている。なお、J-PARC

ハドロンに競合する GSI-FAIR は、主リングトンネル内に SIS100/300 という 2 重のリングを持つ計画で、その一方をストレッチャーとして運用する計画である。

ただし、ストレッチャーを 50GeV 加速器と同じトンネルに設置する場合、その建設期間は 50GeV 加速器の運転ができない。よって 1MW 超の大強度達成用新ブースターの建設など、その他の大建設の時期に合わせてストレッチャーの建設を実施するなど、J-PARC 全体としての学術的成果の達成効率を最大化するよう計画を策定する必要がある。

将来的な加速器増強計画その 2（重イオン加速）

前述のように、QCD の支配するクォーク多体系の相図の完成は、原子核物理の最大の目標の一つである。QCD の相図は、温度と密度（バリオン化学ポテンシャル）の関数として決まる領域ごとに、クォーク多体系がどういう形態の物質として存在するかを記述したもので、現在までに実験的に研究がなされているのは、高温・低密度のハドロン相以外では、高温・低密度状態のクォーク・グルーオン相（主に RHIC/LHC での実験による）に限られており、さらに広い領域（特に高密度領域）を探索する必要がある。特に核子当たり 15–25 GeV の原子核衝突では、衝突後の高密度状態の生成時間に比べエネルギー散逸が遅いため、実験で到達可能な最高密度のクォーク・ハドロン物質の生成とその相構造の研究が可能になると期待される。高密度でのクォーク・ハドロン物質の物質構造は、理論的計算が困難であり、実験が重要な指針を与える研究分野である。さらには QCD の真空構造の基礎的性質や、中性子星（あるいはクォーク星）の内部構造に関する研究にも重要な関連を持つ。

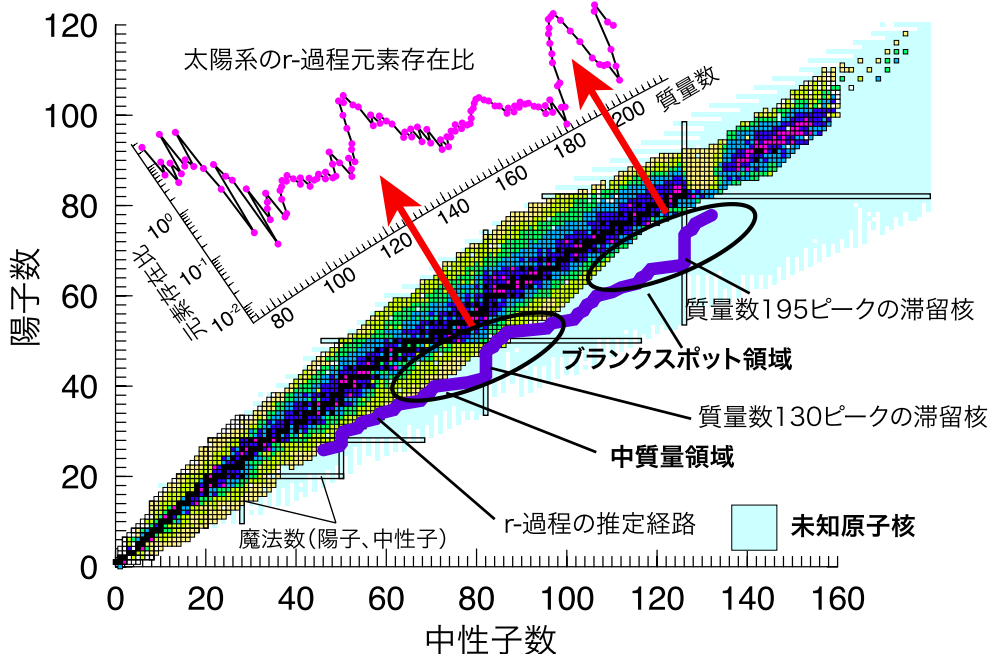
実験推進のためには、入射用の専用重イオン加速器を建設することが最も正統的な手法であり、高能率重イオン源などの入射系の開発や、加速器の原子核加速への対応が必要になる。これが実現出来れば、光子・レプトン対の測定、重クォークなどのレアプローブの測定、マルチストレンジネス測定などを通して高密度クォーク・ハドロン物質の生成とその相構造が研究できる。

入射用加速器システムの設計、高能率イオン源の開発などに 6–7 年程度の準備期間が必要である。すでに加速器グループやハドロンビームグループと重イオン研究推進グループ間で基本的な重イオン加速の研究戦略に関する議論が始まっている。専用の実験装置の検討、準備も平行して行う必要があるが、今後ハドロンホールに建設される一次陽子・高運動量ビームラインとそこに設置される測定器を用いた実験から、重イオン加速戦略にとって必要十分な知見が得られると期待される。

天体核プロジェクト (KISS)

元素、特に金、白金、ウランなどの重元素が、宇宙のどこでどのように作られたのかという問題は、未解決の極めて重要な課題である。これらの重元素が高温（ 10^9K 程度）、高中性子数密度（ 10^{20} 個/秒程度）の環境で数秒間の速い中性子捕獲過程(r-過程)によって生成されることが指摘されているが、そこに関係する極めて中性子過剰な不安定原子核の知識が不足しているため、r-過程の定量的理解とその起源天体の特定は未だなされていない。

r-過程の解明には、天体観測で得られる元素存在比と、特定天体における元素生成モデルを用いた予測値との比較が不可欠である。比較を定量的に行うには、未知の中性子過剰核の半減期、質量、励起状態、崩壊様式、中性捕獲断面積などの正確な知識が必要だが、測定例がないばかりか、これら中性子過剰核の構造が不明なため半減期等を推定することも難しい。r-過程に関与する数千の未知原子核の中でも、原子核の殻構造を反映して寿命が長いために元素存在比パターン上の質量ピークを作り出すと予想されるいくつかの核（滞留核）の研究が特に重要である。質量数 80, 130 の存在比ピークについては、滞留核の崩壊測定が一部行われ、存在比ピークが上記のシナリオにそって確かに作られることが示されている。こうした滞留核の半減期・質量測定から、r-過程が起きる天体環境の温度と中性子数密度の関係、r-過程の継続時間、その径路等がわかる。現在の最重要課題の一つは、金・白金などからなる質量数 195 の存在比ピークの生成環境が、質量数 80, 130 ピークと同一の環境を示すか否かであり、これにより r-過程が単一の天体を起源とするものかどうかを判明する。質量数 195 ピークに関する極端に中性子過剰な滞留核の質量・半減期などの理



図：核図表上に示した r-過程での重元素合成経路の予想。未知の中性子核を経由する。中性子数が魔法数にあたる核が滞留核となって、元素存在比のピークを作る。

論予測は、質量数 80, 130 の場合よりもさらに不確定性が大きく、実験的研究によるのみこの状況が打破できる。

質量数 195 ピークの滞留核は、従来の実験技術では合成できない未知の原子核領域（ブランクスポット）にある。そこで、本プロジェクト第一段階では、中性子過剰安定核ビームを用いた多核子移行反応で滞留核近傍の未知原子核を合成し、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させる。第二段階では、より中性子過剰な短寿命核ビームを用いて滞留核を直接合成し、半減期や質量などの測定を目指す。これらの研究は、これまで KEK が原研タンデムで行ってきたような全国大学共同利用実験の方式を取り入れて進める。実験課題を KEK が募集して、理研と共同開催する審査委員会で審査する。共同利用研でない施設のビームをユーザーが共同利用的に利用することや、ビーム施設側では整備できずユーザーも持ち込めない大型装置を KEK が整備して研究を可能にすることにより、効果的な成果の達成と研究者層の拡大に寄与する。今後もこの方式を KEK が推進することを要望する。

第一段階は、2010 年度から 2014 年度までの短期プロジェクトとして国際レビューを受けてスタートしており、現在、元素選択機能を持つ質量分離装置、KISS (KEK Isotope Separator System)を製作中である。KISS により、反応で生成する様々な不安定原子核について、原子番号と質量数での同時分離ができるようになる。

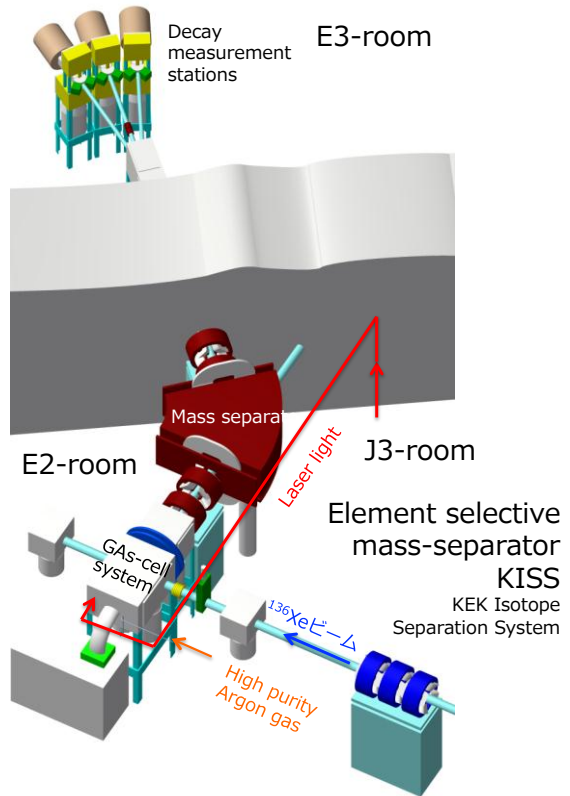
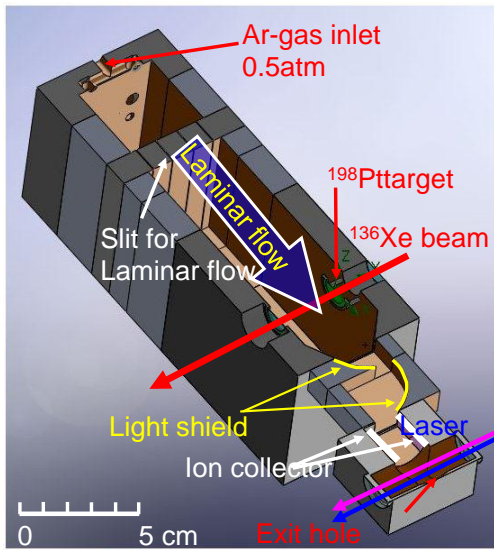
本プロジェクトでは、核子数 10 程度の多核子移行反応により、鉛より軽い中性子数 126 同調体近傍の未知の中性子過剰核の生成を目指す。その生成率の予測精度を高めるため、本実験に先駆けて GANIL において予備実験を行っている。同時に生成される放射性核種の混入を極力抑えるため、KISS にはレーザー共鳴イオン化技術を用いた元素分離と質量分離の機能が組み込まれている。国外で開発されたこの技術を KISS に導入するための装置デザインとそれに伴う開発を進めている。なお、多核子移行反応によりブランクスポットを目指す研究は、ロシアやドイツのグループも開始しており、本プロジェクトは数年の先行しているものの予断を許さない。

本装置は、従来の短寿命核施設では合成が難しい重い質量領域の未知原子核を効率良く分離収集できるため、製作後は共同利用装置として、レーザー分光による核モーメント測定、高精度質量測定などにも利用する。さらに、本装置は超重元素合成に欠かせない核融合反応機構及び核分裂障壁の系統的研究にも利用できる。

第二段階のためには、高強度の中性子過剰短寿命核ビーム（例えば 10^{14} 個/秒程度のウランの核分裂により得られる 10^{10} 個/秒程度の ^{140}Xe ビーム）が供給されなければならない。RIBF の次期計画においてこのような高強度ビームの供給が可能となれば、速やかに質量数 195 ピークの滞留核に到達できる。また、高強度短寿命核ビームの利用と、KISS 前段にガス充填型の高立体角ビームフィルターを設置することにより、KISS の拓く研究領域はさらに広がる。KISS は、融合反応、核子移行反応、核分裂反応など 10 MeV/核子程度の低エネルギー核反応の測定に適しており、その生成物の単一同位体分離が可能であるため、主に β 崩壊すると予測される中性子数 184 の未知超重元素の探索などの重要テーマにも取り組むことができる。

KISS KEK Isotope Separation System

Argon-gas catcher cell
+ Laser resonant ionization (Z)
+ Mass separation (A)
+ Low-background det. system



図：建設中の KISS 実験施設の概略図