

電子・イオン衝突型加速器 (EIC) 計画

① 計画の概要

Electron-Ion Collider (EIC) 計画は世界初の偏極電子+陽子及び原子核衝突型加速器を建設するアメリカ原子核物理の次期将来計画であり、量子色力学 (QCD) 物理の新領域を拓き原子核・ハドロン物理の豊かさを拡大する。EIC 計画で最も重要な研究は陽子の内部構造の三次元的な理解と、原子核内部でのグルーオン飽和の発見と研究である。鍵となるのはグルーオンの役割であり、核子 (陽子) および原子核の内部構造の新たな理解を得ることにより、クォークの閉じ込めや質量の起源を探究する。

日本グループとして EIC 第一期検出器の前方・後方検出器の設計を行い、特にカロリメータ検出器を建設することにより、前方・最前方物理の探索をリードする。前方・後方検出器は研究の基本である深非弾性散乱 (DIS) 過程を検出し、その事象の再構成を行うための最も重要な検出器であり、全ての研究の根幹となる。前方と最前方のジェット、ハドロン、光子、電子を測定し、その相関を研究することにより、陽子の謎である内部の軌道運動を精密に決定し、陽子スピンの対する軌道角運動量の寄与を決定する。また最前方事象の理解により QCD の事象生成プログラムの開発を大きく発展させることができる。

EIC で行う高エネルギーでの陽子を含むハドロンや原子核の研究と日本国内で主に行われている低エネルギーでのハドロン研究を、QCD を基盤として相補的に発展させることにより、ハドロンを統一的に理解しハドロン研究に対するより広い研究領域を形成する。

② 学術的な意義

EIC 計画で最も重要な研究のひとつは陽子の内部構造の三次元的な理解であり、そこで鍵となるのはグルーオンの役割である。グルーオンの一般化されたパートン分布 (GPD) 関数を測定することによりグルーオンの核子内部での空間分布を測定することができる。これは、クォークの空間分布と比較することにより、核子内部でクォークがどのように閉じ込められているか知るための直接的測定となる。核子内部のクォークとグルーオンの相互作用の理解はまた、質量のないグルーオンと質量の小さいクォークがどのように核子のほとんど全て (98%以上) の質量をもたらしているのか、質量の起源を知るための手がかりとなる。

もう一つ重要なのは原子核内部でのグルーオン飽和の発見と研究である。原子核内部で小さいエネルギーを担うグルーオンの数は無限に発散していくが、どこかで再結合が起こり、その数は飽和する。グルーオン飽和の発見と研究は原子核衝突によるクォーク・グルーオンプラズマ (QGP) への発展の理解のためにも不可欠であり、EIC 計画は核子構造研究のみならず QGP 研究にとっても大きく貢献する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

EIC で行う研究は高エネルギーでの陽子を含むハドロンや原子核の研究であり、これまで主に日本国外の海外の高エネルギー実験施設で行われている。EIC は高エネルギーでのハドロン・原子核研究の専用施設である。これに対して日本国内では、高エネルギーのハドロン研究は KEKB-Belle 実験などで部分的に行われているものに限定されている。日本国内でのハドロン研究は低エネルギーでの研究が中心であり、J-PARC や SPring-8 (LEPS 実験) などで行われている。どちらも QCD を基盤としてはいるものの、高・低エネルギーによる研究手法の違いは大きく、前者がクォーク・グルーオン描像に基づくのに対して、後者は構成子クォーク描像に基づいた研究が中心である。その両方の研究を相補的に進め、統一されたハドロンの理解を得ることはハドロン研究を大きく発展させ、将来のより広い領域の形成をもたらす。

④ 実施機関と実施体制

実施の中心となる機関は山形大及び理化学研究所である。

山形大としては、クォーク核物理学研究室がこの計画を実施する中心となることを正式に合意している。クォーク核物理学研究室は、これまで CERN-COMPASS 実験や Fermilab-SeaQuest 実験などの大きな国際共同実験に参加し、中心グループのひとつ

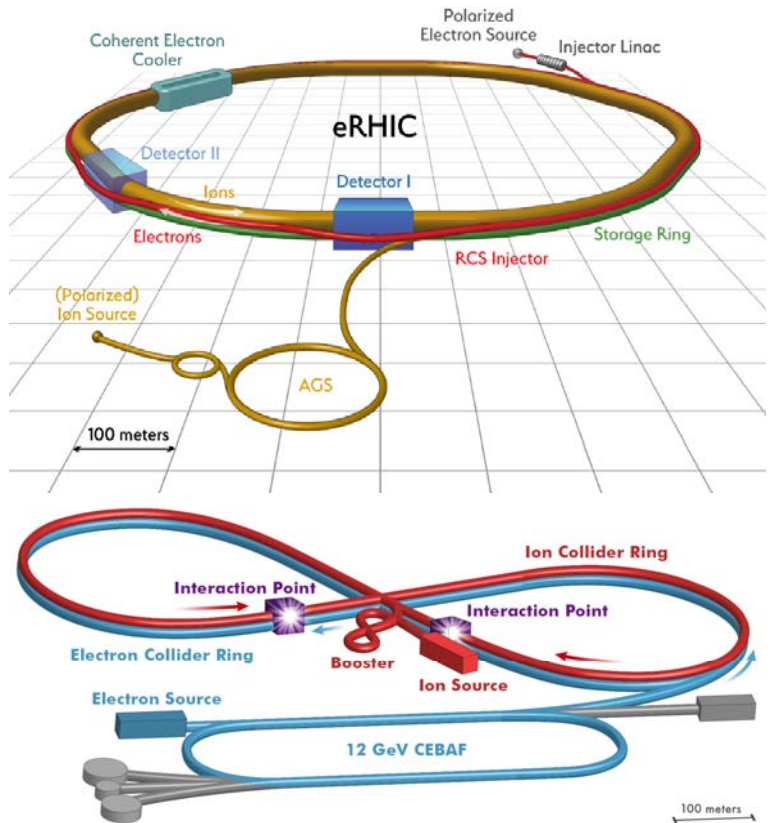


図1 EIC 計画の2つのデザインである (上) eRHIC 加速器と (下) JLEIC 加速器

として研究設備の設計・建設・運用および実験データ解析、研究結果の出版までリードして来た経験を持つ。EIC 計画においても実施の責任を果たせる体制を持っている。EIC 計画では、計画の総括、前方・後方検出器の設計を行い、前方カロリメータの開発・建設をリードする。特にハドロンカロリメータの設計、プロトタイプ製作、テスト評価を行う。

理化学研究所としては、理研 BNL 研究センターのレベルで合意を得るべく交渉中である。理研 BNL 研究センターは、BNL の RHIC 加速器での偏極陽子加速、RHIC-PHENIX 実験での国際共同事業を行ってきた。EIC 計画においても実施の責任を果たせる体制を持っている。EIC 計画では、計画の総括、前方・後方検出器の設計を行い、前方および最前方のカロリメータの開発・建設をリードする。特に最前方カロリメータとして位置検出型カロリメータの開発を行う。またカロリメータと陽子スペクトロメータを含む衝突点の設計を行う。

他の参画機関は東工大、日本大、神戸大、KEK、杏林大、BNL、新潟大である。東工大、日本大は前方カロリメータ、特にハドロンカロリメータの設計、開発、テスト評価を行う。神戸大は最前方カロリメータとして位置検出型カロリメータの開発を行う。特に放射線耐性の研究を行い、その結果を基に設計、プロトタイプ製作、テスト評価を行う。KEK、杏林大、BNL、新潟大はEIC 計画における物理の理論的研究を行い、EIC 計画での実行可能性を評価する。

⑤ 所要経費

EIC 第一期検出器の前方・後方検出器の設計を行い、特に前方および最前方のカロリメータ検出器の開発・建設・設置を行う。このための経費は前方ハドロンカロリメータ 8.3 億円、最前方カロリメータ 1 億円、陽子スペクトロメータ 1 億円、データ収集及びトリガー装置 1.5 億円、実験設備の設置 2.5 億円、人件費（エンジニア 12FTE + テクニシャン 12FTE）6.6 億円の小計 20.9 億円である。これに 2020 年-2026 年のポストドク 4 名雇用と旅費 3 億円/年の 7 年分で 2.1 億円と理論研究 2020 年-2026 年のポストドク 4 名雇用と旅費 3 億円/年の 7 年分で 2.1 億円を加えて、総経費 25.1 億円である。

⑥ 年次計画

2022 年までは BNL で行われている EIC R&D 及び他の外部予算獲得による実験設備の開発を行う。その後 2023 年-2026 年の製作・設置のためのより大きな予算獲得を目指す。2027 年以降は実験の実施及び実験データの解析の期間が通常 10 年以上続く。現時点では国際共同実験としての具体的な議論、実施計画はまだないが、継続的なポストドクの雇用が必要である。2023 年以降は 2027 年の実験実施に向けて学生の参加・育成を行う。

⑦ 社会的価値

この研究課題から得られる知識である核子の内部構造の新たな統合的理解、原子核内部でのグルーオン飽和の発見や最前方事象の理解からは他の研究分野に対する大きな波及効果が得られる。QCD の事象生成プログラムの開発を大きく発展させることにより、高エネルギー素粒子実験や宇宙線・ニュートリノ観測に大きく貢献し、グルーオン飽和の研究はクォーク・グルーオンプラズマ (QGP) 研究にも不可欠である。さらに核子内部のクォークの閉じ込めや質量の起源という物理学における大きな問題の解決にも結びつく。

⑧ 本計画に関する連絡先

後藤 雄二 (理化学研究所・仁科加速器科学研究センター)

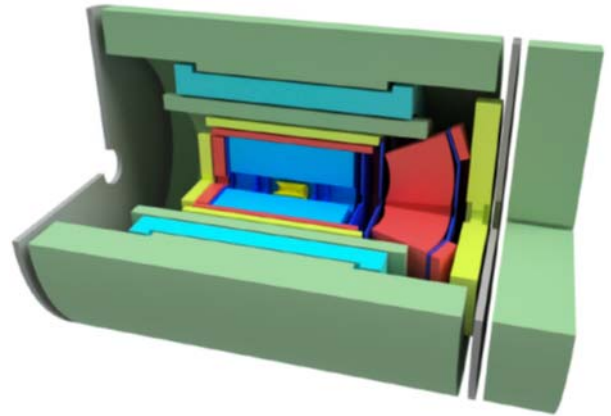


図2 EIC 第一期検出器の1つのデザインである EIC-sPHENIX 検出器