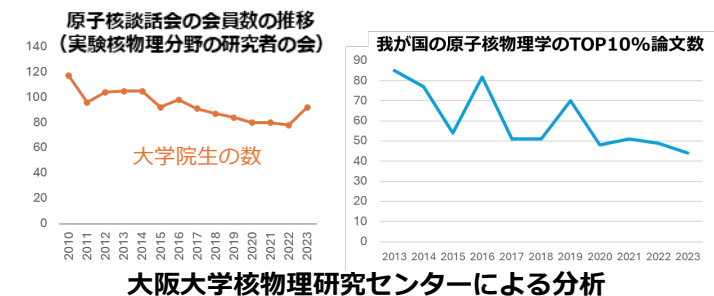
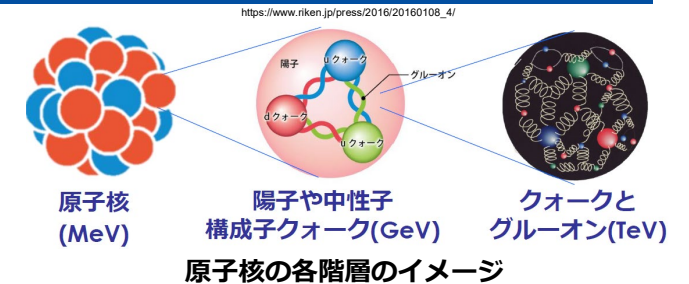


我が国の原子核物理学の現状と課題

- **原子核物理学**は、物質の創成と進化の解明を目的として、素粒子（クォークとグルーオン）を基本単位として、素粒子、核子（陽子と中性子）（約 10^{-15}m ）から中性子星（約 10^4m ）までの**広い階層の量子ダイナミクスを研究する学問**。
- 科学的意義に加え、**イノベーション創出、エネルギーの安定供給、人材育成に貢献**。
- **これまで、国内での大型実験施設整備や、国際共同実験**への参画を通じて、クォーク・グルーオン・プラズマ（宇宙初期に物質が溶けて素粒子のスープになった状態）、二ホニウムの発見等の**優れた研究成果を創出**。
- 我が国の若手研究者が、**国際共同研究を主導する研究ポストを獲得し活躍**。当該分野を志す**大学院生の数も近年増加**。
- 一方、本分野の我が国の**研究者数、TOP10%論文数は減少傾向**。

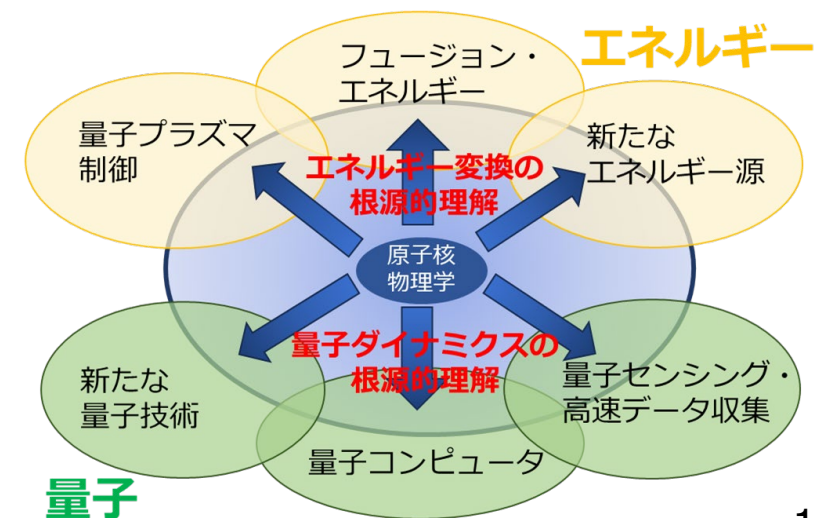
➡ 若手研究者等を惹きつけ、当該分野への参加を促すような研究環境の整備等が必要



EIC計画への我が国の参画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開①

【我が国の原子核物理学が目指す方向性】

- **量子物理学**では、素粒子・核子・原子核、原子・分子、液体・固体、天体・宇宙の**各階層における理解は進展**。一方、電子が強く結合する系での高温超伝導の発現など、各階層の理解だけでは解決できない問題が山積。**複数の階層に渡る理解が不可欠**。
- **原子核物理学**は、広い分野と関連する現代物理学の基本概念が集約された学問。**量子物理学を広い階層で活用するために重要な役割**を果たす。
- 原子核物理学を起点として、理論・実験・計算科学を融合し、階層を超える量子ダイナミクスの普遍的な法則の解明を目的とする「**マルチスケール量子ダイナミクス研究**」の創出を目指す。
- **エネルギー分野や量子技術分野**のイノベーション創出にも貢献【参考1参照】。



EIC計画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開に関する中間報告（概要）

令和6年7月●日 EIC計画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開に関する有識者会議



文部科学省

EIC計画への我が国の参画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開②

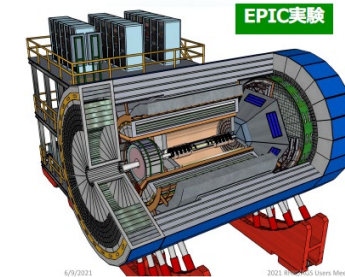
【原子核物理学の新たな展開とEIC計画】

- EICは、**米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）**に建設を予定する、世界初の偏極電子と偏極陽子・原子核の**衝突型加速器**【参考2参照】。**陽子や原子核内部の3次元構造**（クォークやグルーオンの位置や動き）の**精密測定**を行う。25の国と地域から850人以上が参加。
- **EICの成果を活用**して、量子同士の干渉が保持される性質（量子強靱性）、量子が多数集まった時に初めて発現する現象や機能（量子多体系の創発）、日常環境下で現れる量子現象（量子開放系の非平衡現象）等を理解し、**マルチスケール量子ダイナミクス研究推進に貢献**。
- **陽子の質量とスピンの起源解明等の科学的成果**、新たなエネルギー源の開拓、量子コンピュータ実現への貢献等の**広範な応用が期待**される。

【EIC計画への参加体制】

- **日本グループは、40代の研究者を中心に、30代の多くの若手研究者と共に**、我が国の強みを生かし、計画の成否に関わる測定器、データ収集・分析系を担当し、**科学成果の創出を主導**。
- **理研：BNLにEIC拠点を整備**し、測定器建設やストリーミング型データ収集システムの配備、日本から研究者受入、**マルチスケール量子ダイナミクス研究の創出を目指した取組の実施等**。
- **大学：国内のアカデミアの知を糾合**し、優秀な**人材を確保・育成**しBNLに派遣するとともに、測定器とデータ収集技術の**国際標準化等**を主導。
 - ✓ **東京大学クォーク・核物理研究機構**を設置。日本のEIC計画の中核。**大阪大学核物理研究センターとの大学間連携**により、オールジャパンで大型国際研究を推進する「**国際量子物理ネットワーク拠点**」を構築
 - ✓ **共同利用・共同研究拠点**の機能を活かして**多様な機関の参加を促す**とともに、**若手をはじめとした研究者が参画しやすくなる仕組みを構築**

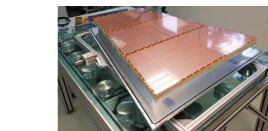
<https://www.bnl.gov/eic/epic.php>



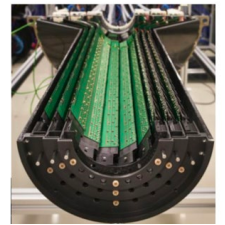
EPIC実験



https://alice-collaboration.web.cern.ch/menu_proj_items/O2-FLP

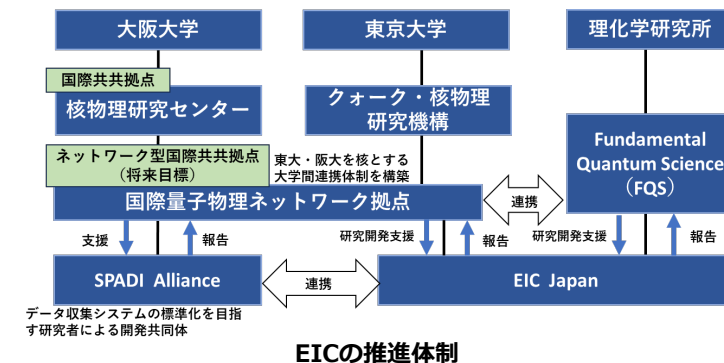


https://alice-collaboration.web.cern.ch/menu_proj_items/tpc



https://alice-collaboration.web.cern.ch/menu_proj_items/its

測定器全体と日本が担当予定の
センサー、大規模データ収集系のイメージ



総合的所見

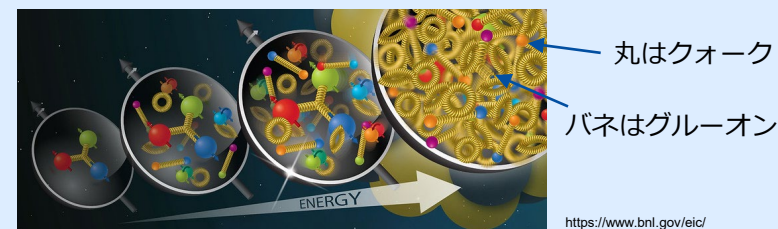
- EIC計画への我が国の大学・研究機関の参画及びこれに関連する原子核物理学の新たな展開を積極的に進めていくため、**文部科学省が、理化学研究所、東京大学、大阪大学等の関連する機関や研究者の取組を積極的に支援**していくことが必要。
- 若手研究者が国内外の多様な実験に参画し、スキルアップしていける体制の整備等の留意点について、今後も議論を進めていく。

期待される科学的発見：

◆ 陽子や原子核内部のクォーク※とグルーオン※の挙動の理解

※陽子を構成する素粒子（量子）の一つ。

- 陽子はクォーク3個から構成されていると考えられているが、高エネルギーの電子を使って精密に測定すると、**無数のクォークやグルーオンからなる複雑な構造**をしていることがわかる



低→高エネルギーでの陽子内部のイメージ

<https://www.bnl.gov/eic/>

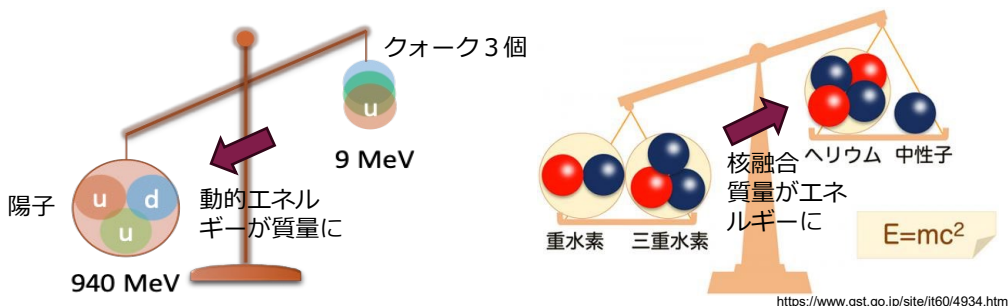


陽子の質量の起源解明

エネルギー分野で期待される貢献

質量・エネルギー変換 ($E=mc^2$) の根源的理解

- 陽子の質量は、クォーク3個の質量の約100倍であり、陽子質量の**約99%を占める**クォークとグルーオンの**動的エネルギー**（質量とエネルギーは等価）の解明
- 核融合や核分裂で**エネルギーが生み出される仕組み**の根本的な理解や**新たな核融合反応開拓**に貢献



陽子質量とクォーク3個の質量

核融合反応：質量の差がエネルギーに

- ✓ このほか、原子核物理学と核融合では使われる**数学や実験技術が共通**であり、両分野で**共通の課題解決や人材育成**に貢献が期待

陽子のスピンの起源解明



量子技術分野で期待される貢献

量子ダイナミクスの根源的理解

- 陽子が、クォークとグルーオンから量子ダイナミクスにより組織化され、**幅広いエネルギー領域で量子的に安定なスピン状態を維持**できる機構の解明

- **量子もつれ状態※の保持や、安定した量子性を持つ物質の探索**に貢献

※ 量子の状態が離れていても密接に関連している状態。量子コンピュータ等に使われる

- **量子コンピュータや超高性能デバイス**（超高感度センサー等）の**実現**に貢献

Image courtesy of Brookhaven National Laboratory



陽子内部のイメージ

Copyright: RIKEN Center for Quantum Computing



このほか、以下にも貢献が期待：

- ✓ 原子核物理学の基礎理論の理解による、**国産量子コンピュータ「叡」量子コンピュータ**の実用化に不可欠な**誤り耐性機能※**の実現

※ 量子計算の過程で発生する誤りを訂正する技術

- ✓ データ処理技術等、原子核物理学・量子技術の両分野で**共通の課題解決や人材育成**

【概要】

- EIC計画は、米国エネルギー省が、ブルックヘブン国立研究所に整備を進める、**世界初の高エネルギー偏極電子－偏極陽子・イオン衝突型加速器計画**（全周約3.8kmの円形加速器、2026年建設開始、2034年本格運転開始を予定）。
- 今後10年で計画されている**唯一の大型加速器計画**（国際共同プロジェクト）。
- 本年2月に**米国から我が国へ参加要請**があり、理研・東大をはじめとする**日本の科学コミュニティの貢献を期待**。
- 日本グループは、**我が国が強みを持つ半導体とデータ収集の技術を活かし、測定器とデータ収集・解析システムを担当。研究成果創出の主導と、我が国の基盤技術の国際標準化を進め、人材や産業の育成にも貢献することを期待**。
- EICの総建設費17億～28億ドル（約2,700億円～約4,500億円）※のうち、日本は、**建設期（2025年－2030年）総額約92億円（うち測定器等の整備費 42億円）、運用期（2031年－2050年）総額約192億円**の貢献を想定。

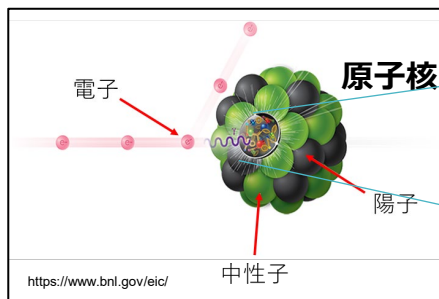
※ 現時点の建設費の総額は、概念設計段階であるため幅がある。また、加速器に加え、測定器、人件費等の運用費を含む。1ドル＝160円換算。

【意義】

- 原子核の新たな描像、陽子の質量・スピンの起源解明等の**科学的成果と新たなエネルギー源の開拓や量子コンピュータの実現等の広範な応用が期待**される。

実験のイメージ

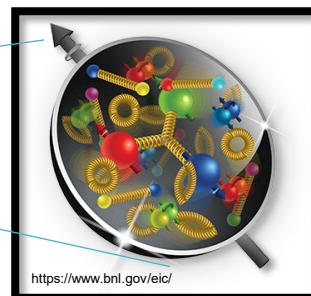
- ・ 電子を用いて原子核内の構造を探索
- ・ いわば「**超精密電子顕微鏡**」



原子核の大きさは 10^{-14}m くらい

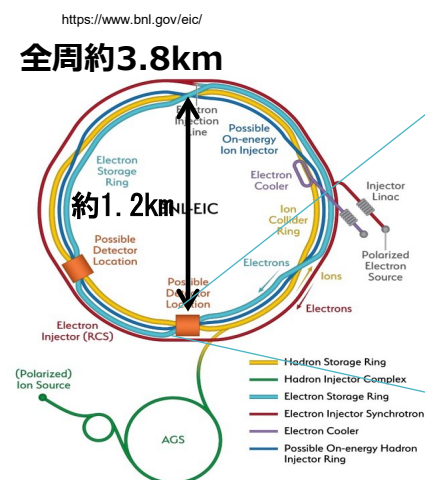
陽子内部のイメージ

- ・ 陽子や中性子・原子核内の精密な3次元構造を計測
- **陽子の質量・スピンの起源解明**



陽子の大きさは 10^{-15}m くらい

EICのイメージ



測定器のイメージ

