

収束と成形

—2つの機能を1台で実現する加速器用電磁石—

➡ 全く新しい電磁石構造のご提案です

所属 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
J-PARC センター 加速器ディビジョン
ちむら もとき
研究員 地村 幹
➡ (Japan Proton Accelerator Research Complex: 大強度陽子加速器施設)

生年月日

1996年3月14日 (29歳)
(数学の日)

略歴

- 2018年4月～2020年3月 東北大学大学院 加速器科学研究室 博士前期課程
日本原子力研究開発機構 特別研究生 (学生研究生)
- 2020年4月～2023年3月 東北大学大学院 加速器科学研究室 博士後期課程
日本原子力研究開発機構 特別研究生
- 2023年4月～ 日本原子力研究開発機構 研究員

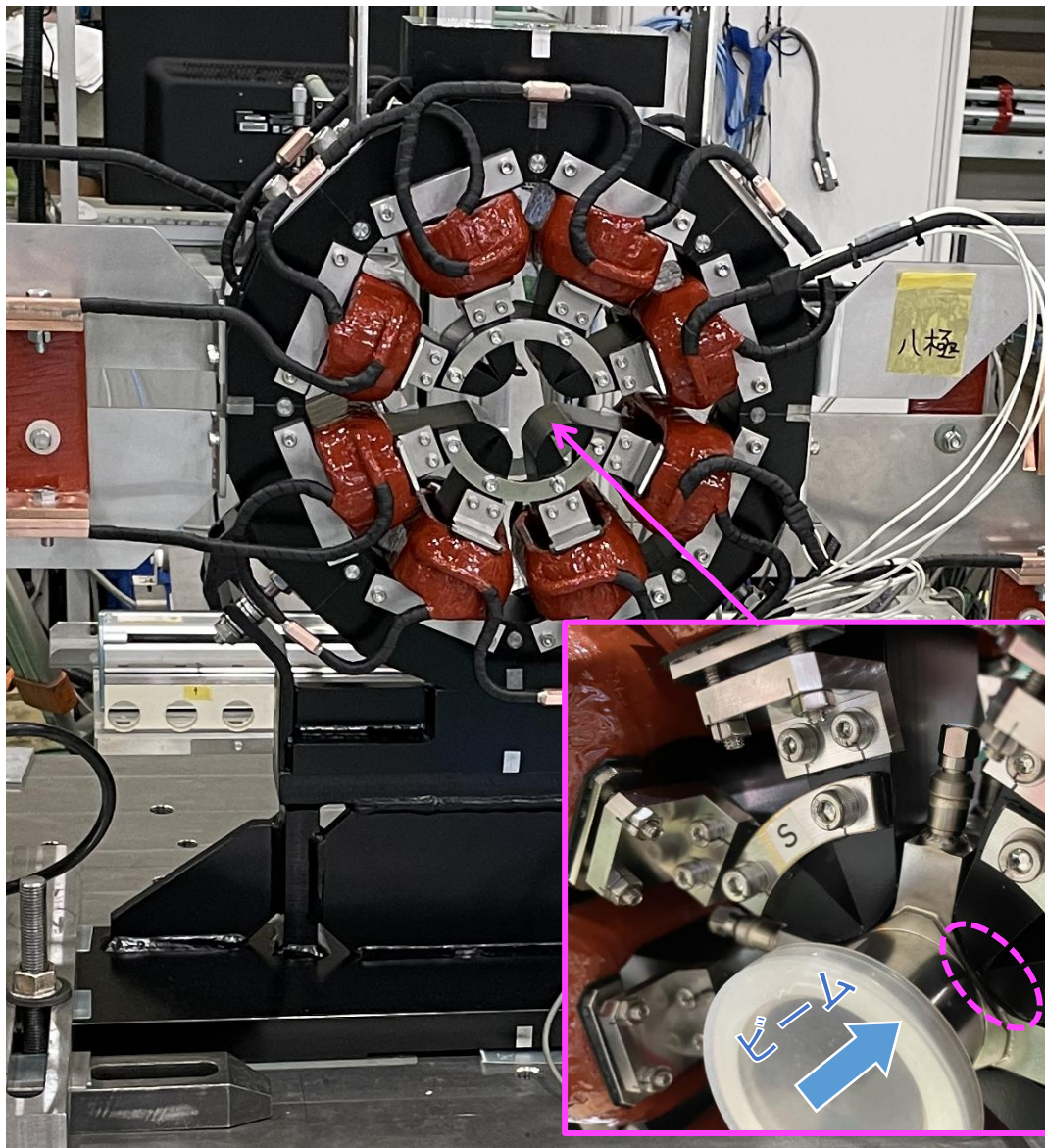
本技術を開発

現在の業務

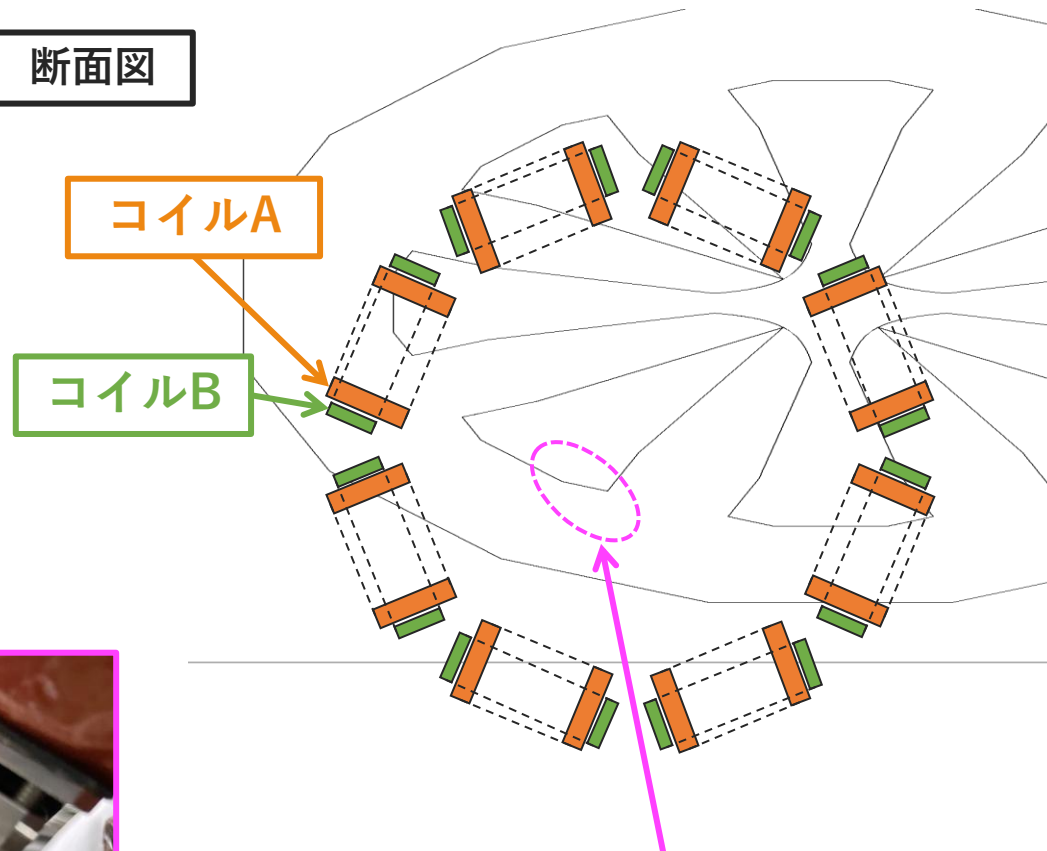
加速器の高度化に関する研究開発



本技術を用いて製作された電磁石



断面図

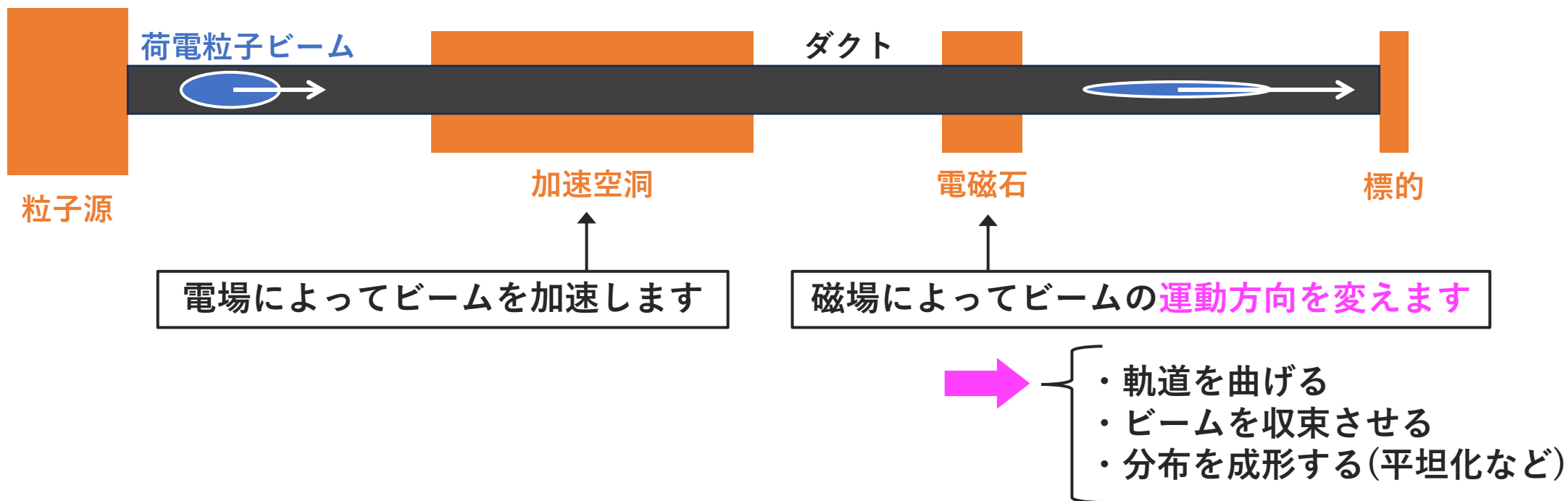


複数の磁極が先端で接触する鉄芯構造を提供します

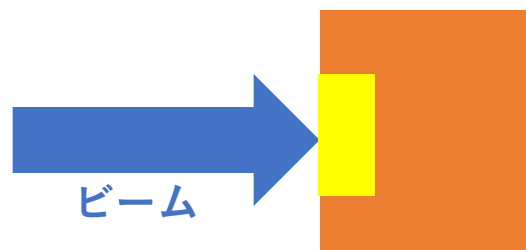
- ➡
- どのような利点があるのか？
 - どのような加速器に適用できるのか？
- についてご理解いただければ幸いです

本技術開発の経緯について

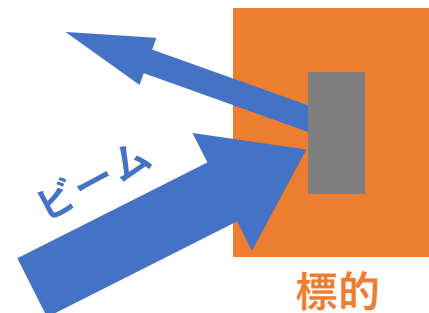
加速器の基礎モデル



■ 現在、加速器は様々な場面で利用されています



(a) 標的を変化させる



(b) 標的を調べる

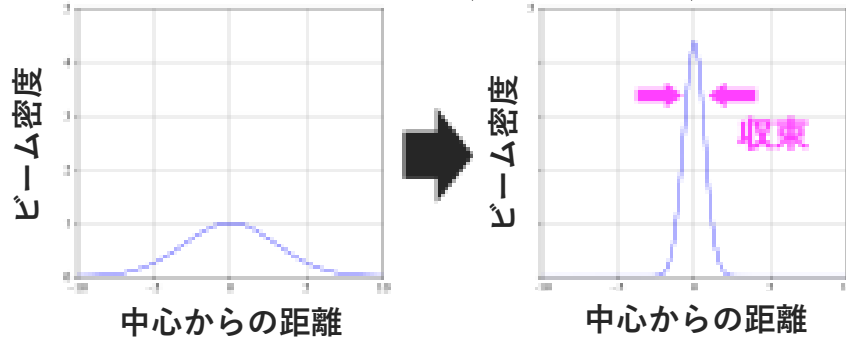
- 高分子材料の改質
- 金属材料の表面処理
- 電子線滅菌
- 電子線硬化による接着やコーティング
- イオン注入装置
- X線非破壊検査や中性子非破壊検査
- 放射線治療装置
- 医療用アイソトープ製造
- 排煙処理や排水処理
- 核融合発電
- 放射化分析や粒子励起X線分析

など

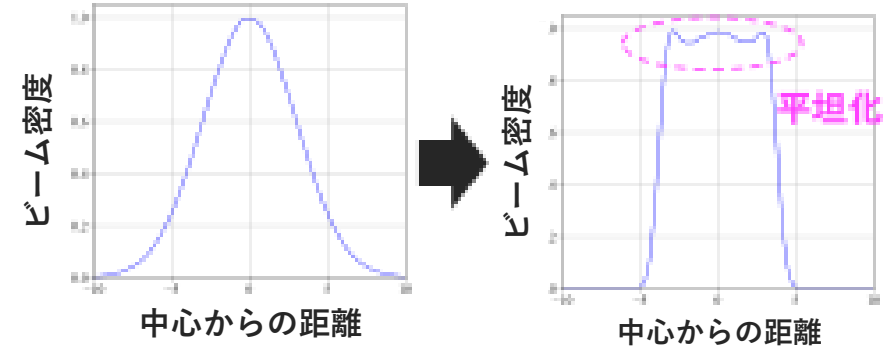
多数の分野で用いられているため、加速器を高度化することによる
インパクトは非常に大きいです

加速器で使われる電磁石の例

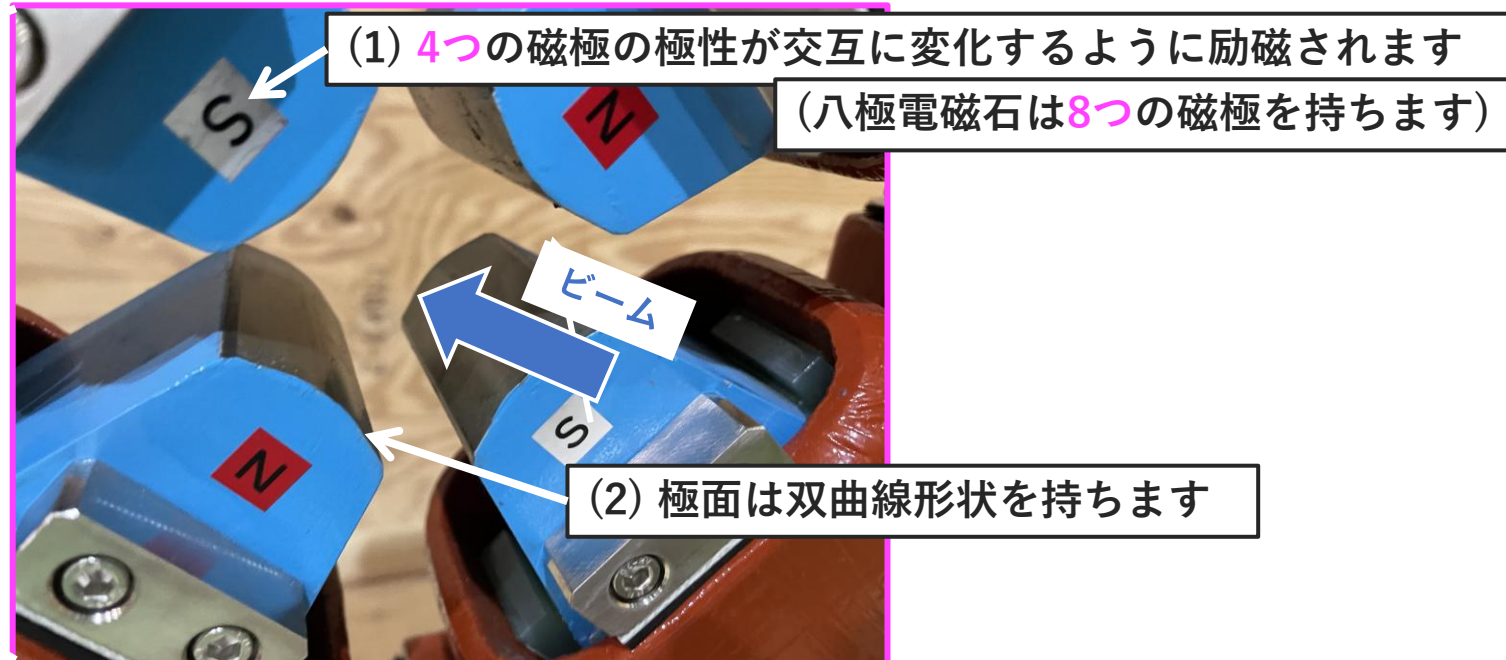
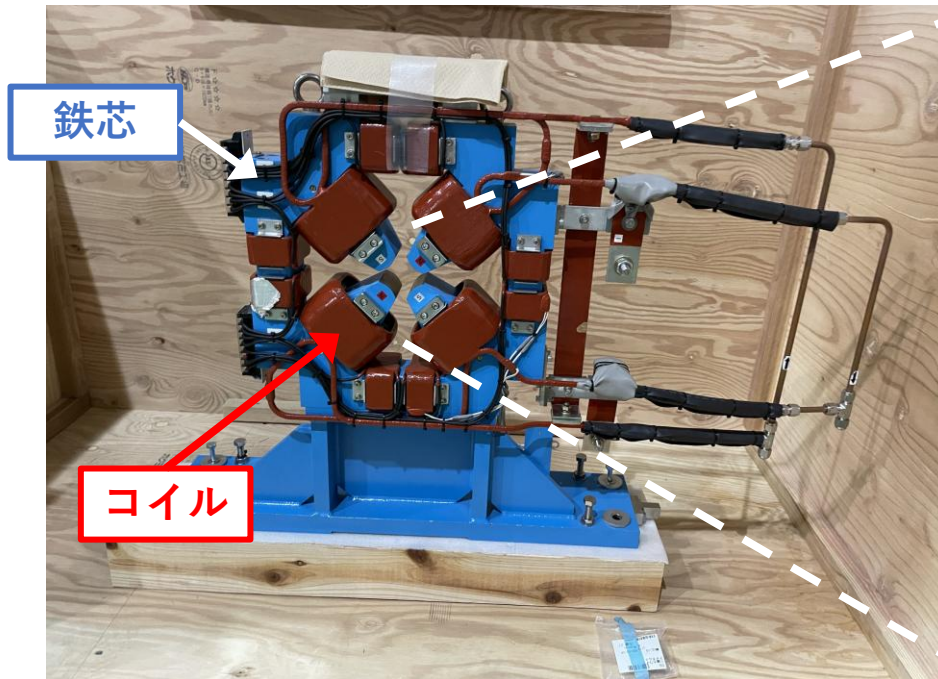
四極電磁石（収束磁場）



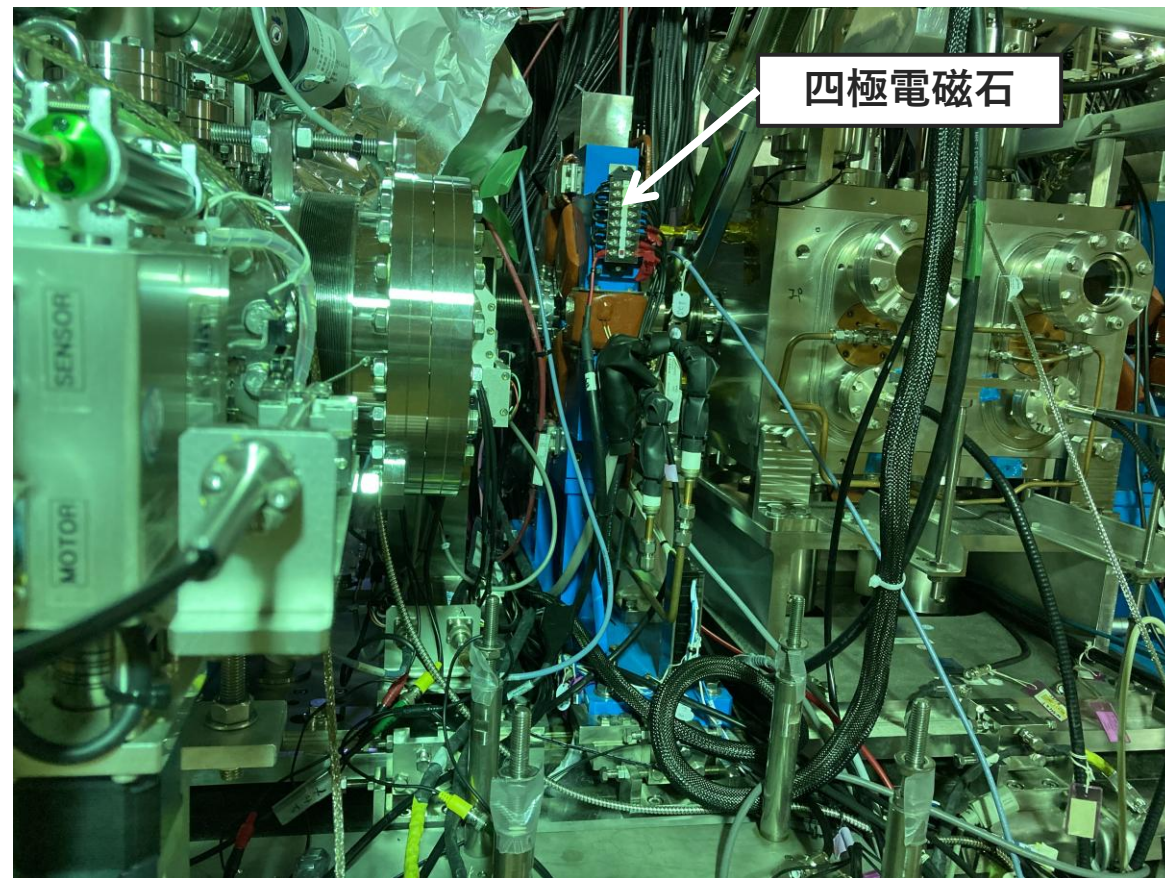
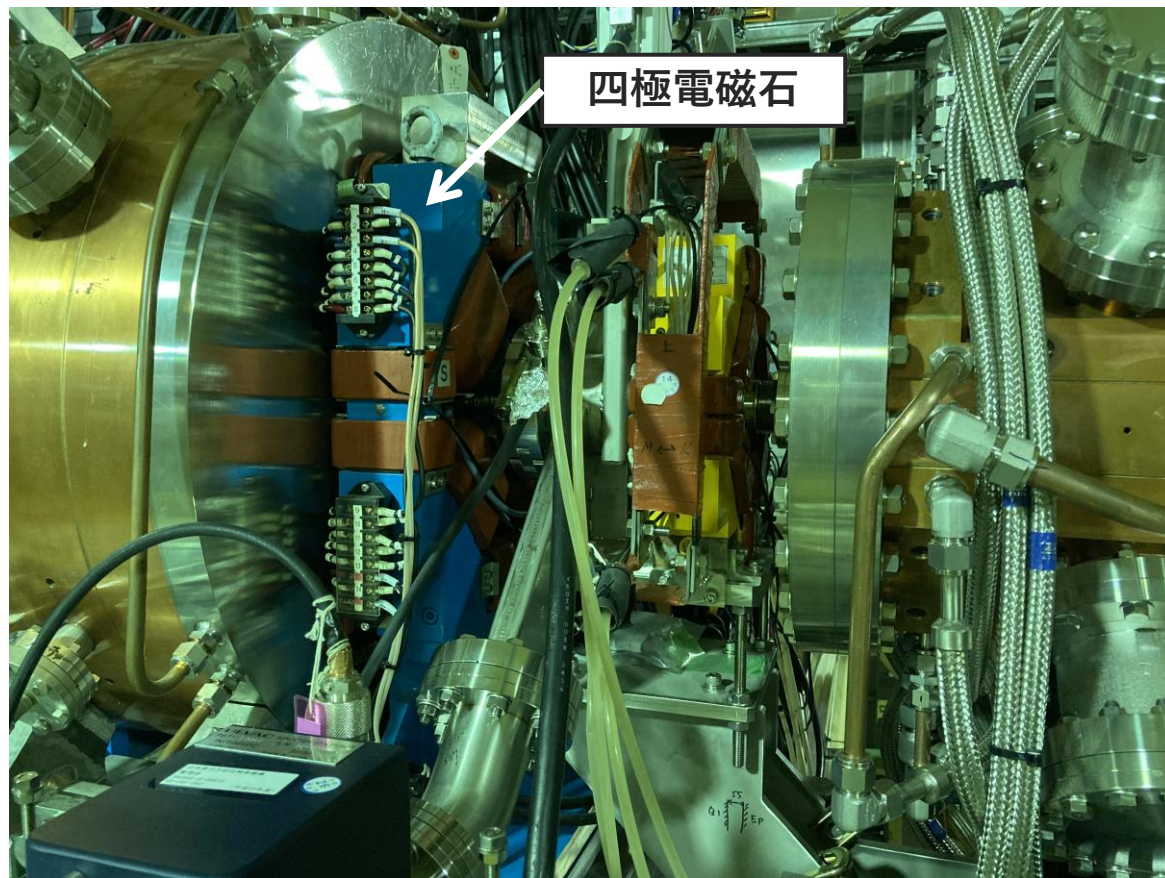
八極電磁石（成形磁場）



四極電磁石（収束磁場を発生させる電磁石）



J-PARC加速器のビーム輸送路



本技術開発の動機

省スペースな収束磁場と成形磁場のどちらも発生できる電磁石を作りたい

収束磁場と成形磁場のどちらも発生できる電磁石を作りたい

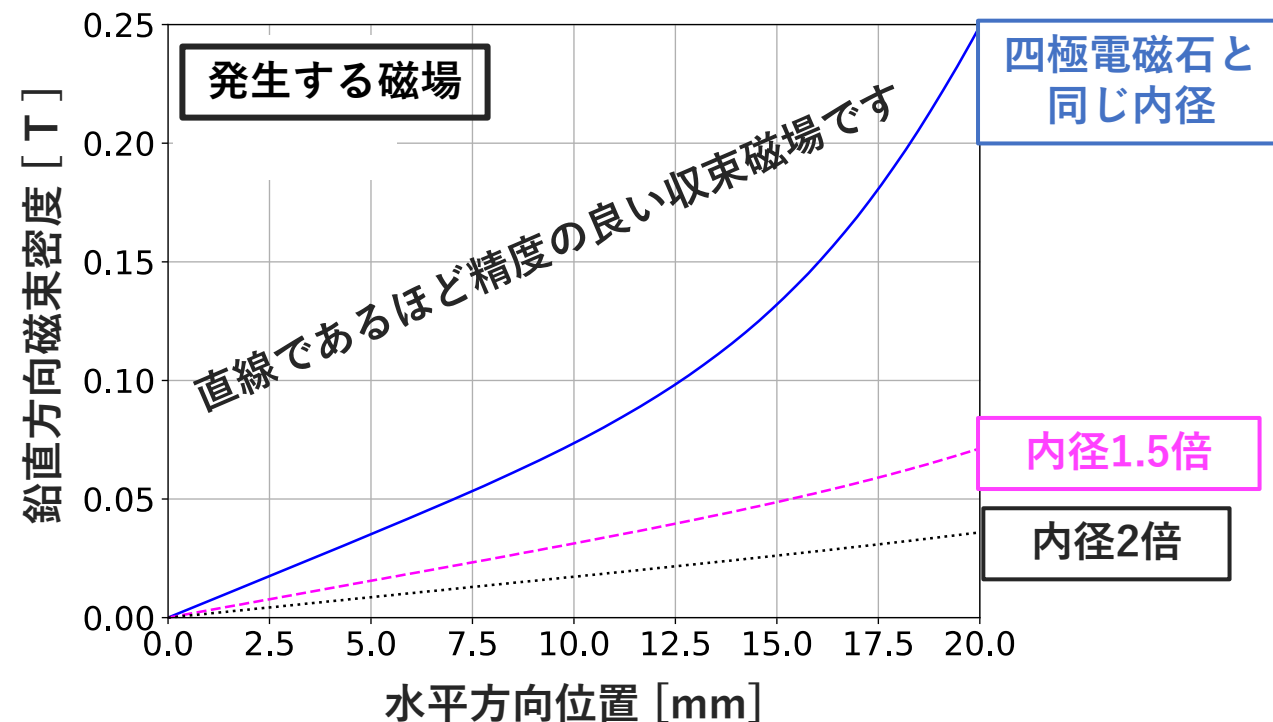
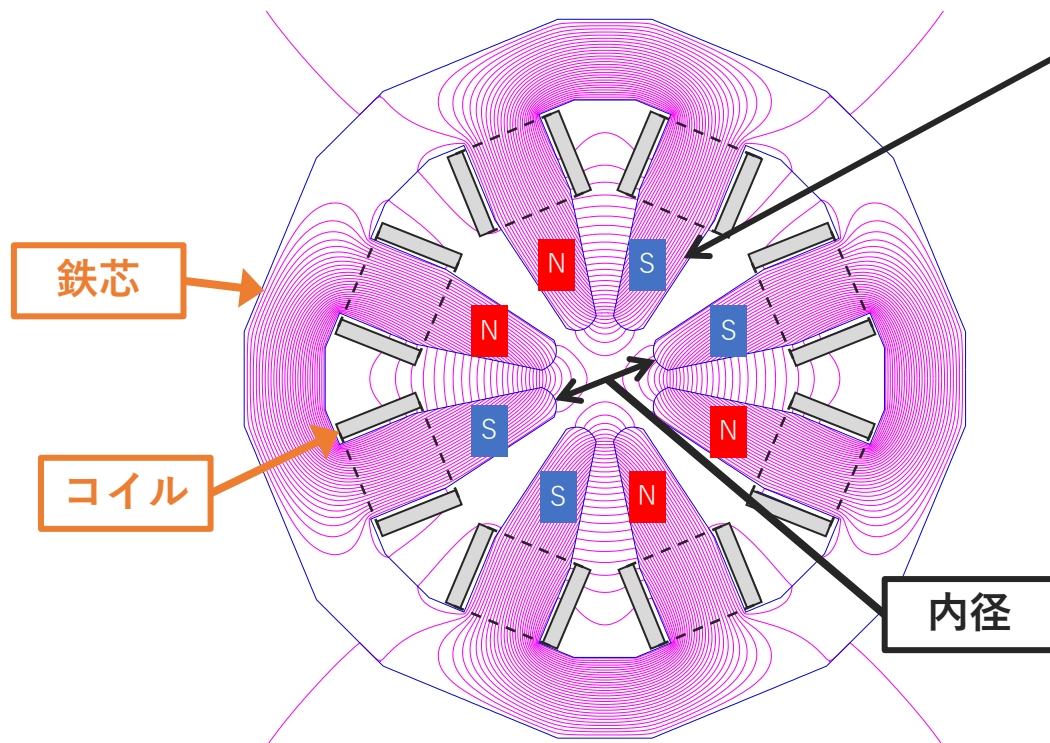
従来技術による解決策

成形磁場は八極電磁石から発生させることができます

加えて,



四極電磁石のように励磁することで収束磁場も発生させることができます

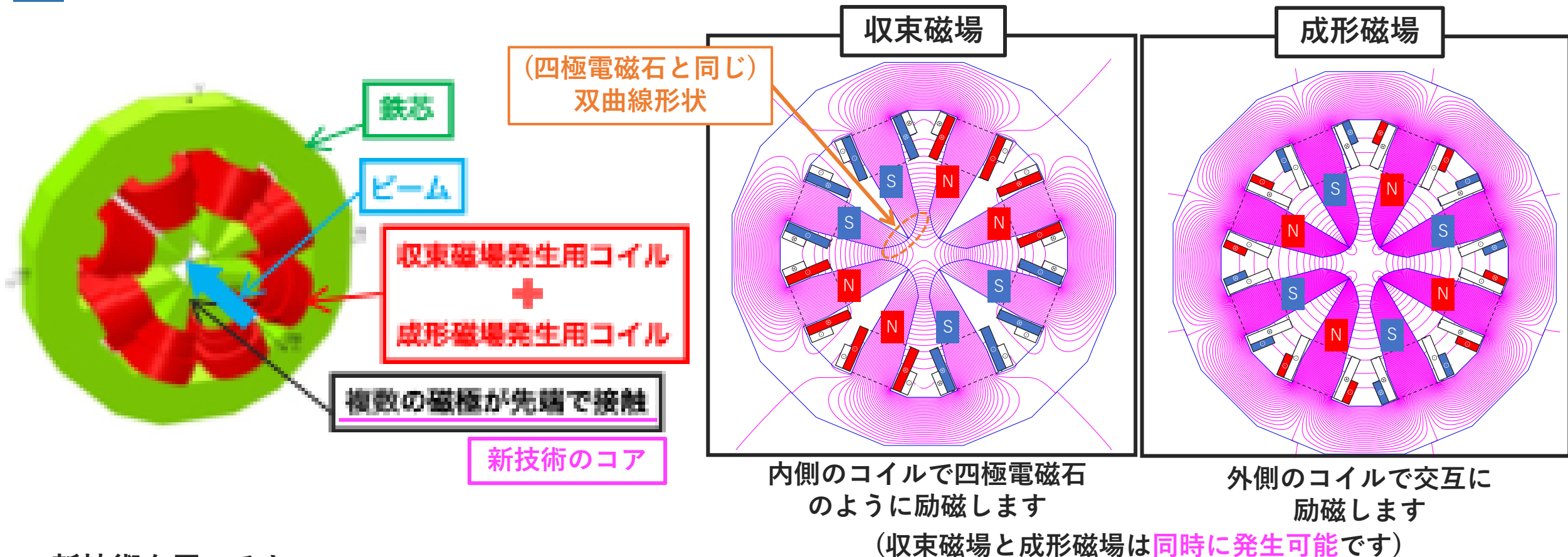


精度の良い四極磁場を発生させるには
内径を2倍程度大きく取る必要がある



1. 磁石が大型化する (4倍)
2. 大きな電流を必要とし (4倍), 発熱量も増大 (16倍)

新技術による解決策



新技術を用いると、

四極電磁石と同程度の高精度な収束磁場が発生可能



成形磁場も発生可能

従来技術と比べて、

1. 磁石の小型化 (1/4)
2. 小電流(1/4) , 省冷却設備(1/16)

本技術の適用案

■ 本技術の今後の発展ビジョン

本技術を産業・医療分野の加速器への適用することを目指しています



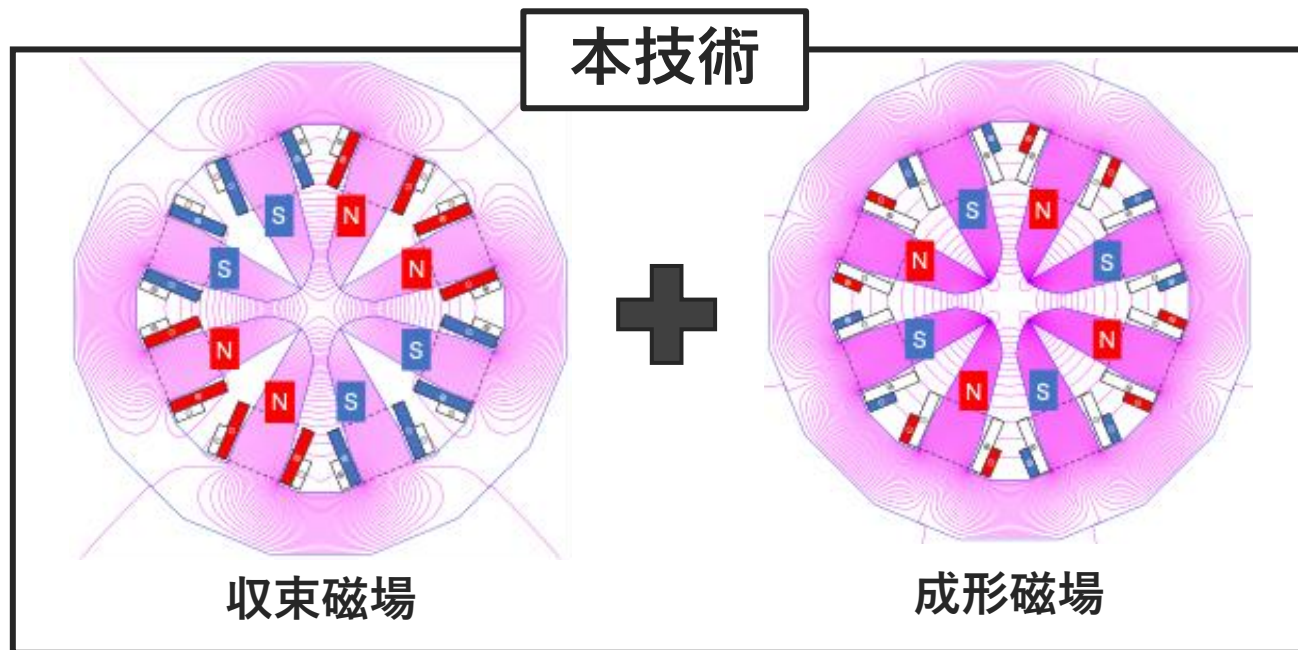
産業・医療分野に本技術を適用し、加速器の小型化や省力化による利用拡大，分布成形による無駄のない加速器利用を実現することの社会的意義は大きいと考えています

産業・医療分野における加速器の利用

- 高分子材料の改質
- 金属材料の表面処理
- 電子線滅菌
- 電子線硬化による接着やコーティング
- イオン注入装置
- X線非破壊検査や中性子非破壊検査
- 放射線治療装置
- 医療用アイソトープ製造
- 排煙処理や排水処理
- 核融合発電
- 放射化分析や粒子励起X線分析

など

加速器の小型化や省力化による利用拡大



高精度な収束磁場と同時に成形磁場も発生可能



従来技術と比べて、

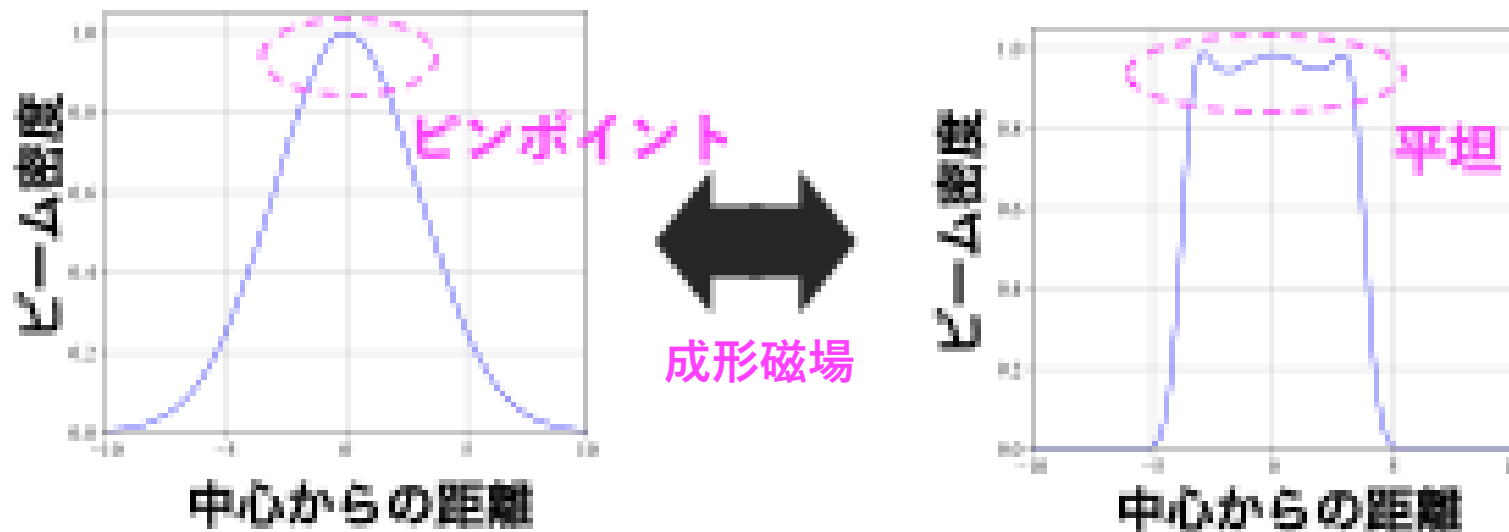
1. 磁石の小型化 (1/4)
2. 小電流(1/4), 省冷却設備(1/16)

これを加速器に適用すると、

- 磁石の統合や冷却設備の簡素化による製作コストの低減 (1/2)
- 小電流化や省冷却設備による省電力化
- 磁石の数が減ることによる維持コストの低減
- 非破壊検査装置や放射線治療装置の可搬化

分布成形による無駄のない加速器利用

成形磁場を用いることで分布形状を変えることができます



照射漏れを無くします

1回で照射を完了します

意図しない場所には照射しません

- 産業利用における平坦入射やピンポイント入射
- 粒子線治療装置における腫瘍形状に合わせた分布の変化
- ビーム輸送途中におけるロス低減

に利用できると思っています

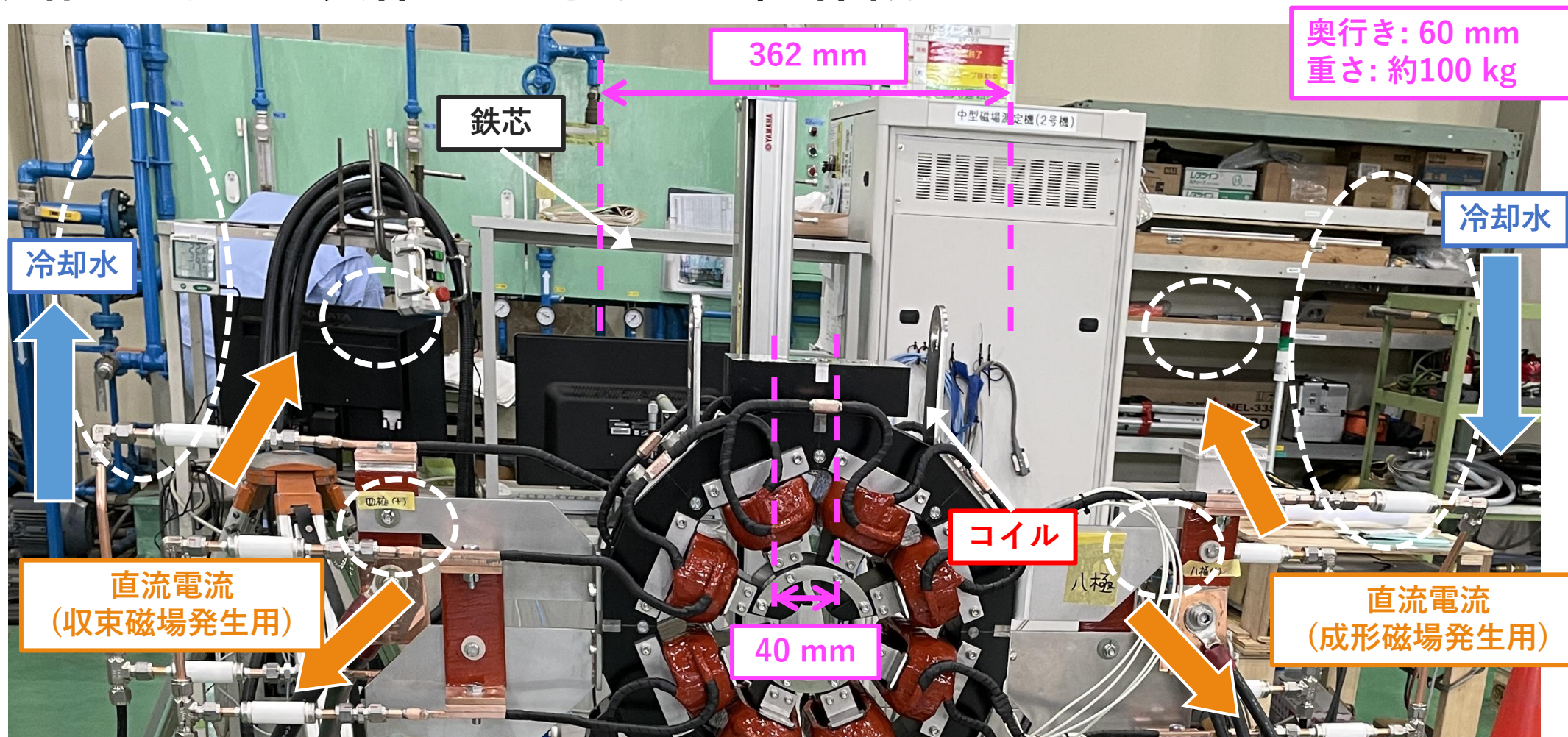
ビームを無駄にしません

機器の放射化を減らします

個人差があっても対応します

本技術の特性

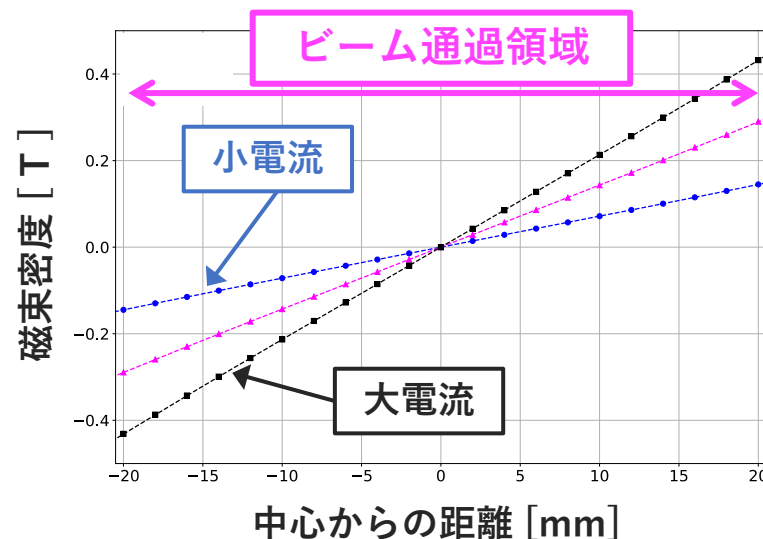
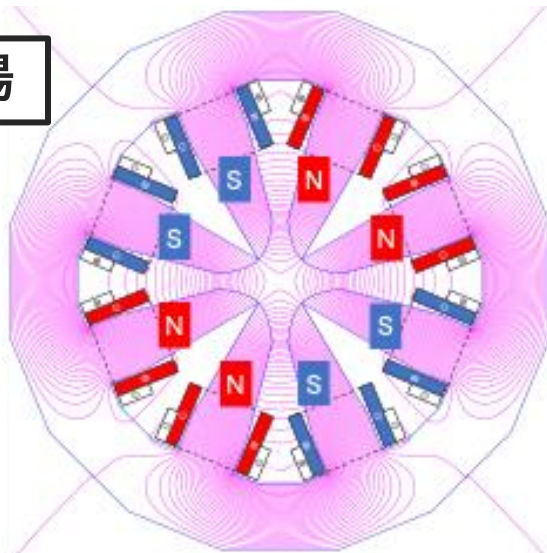
本技術を用いて製作した電磁石の試作機



既に設置されている四極電磁石と同等の大きさや収束力を持たせるように任意に設計可能です
(既存の設置スペース・電源・冷却設備は転用可能で、他の磁石の再調整は不要です)

発生する磁場 (点は測定値, 線は計算による予測値です)

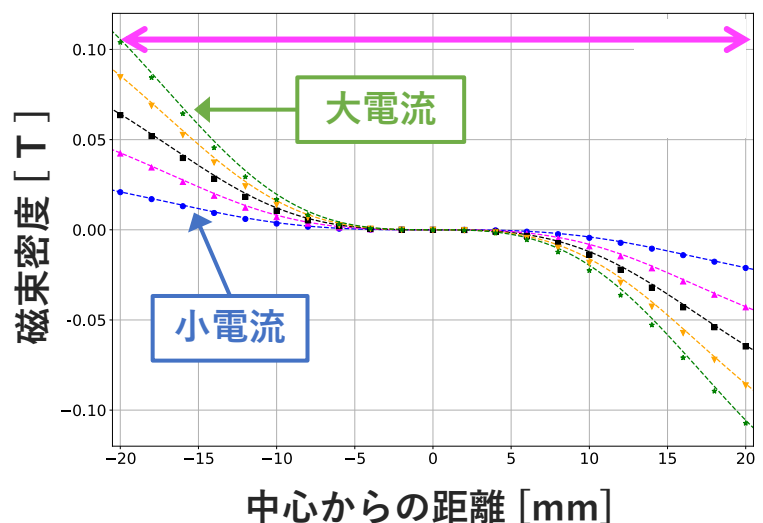
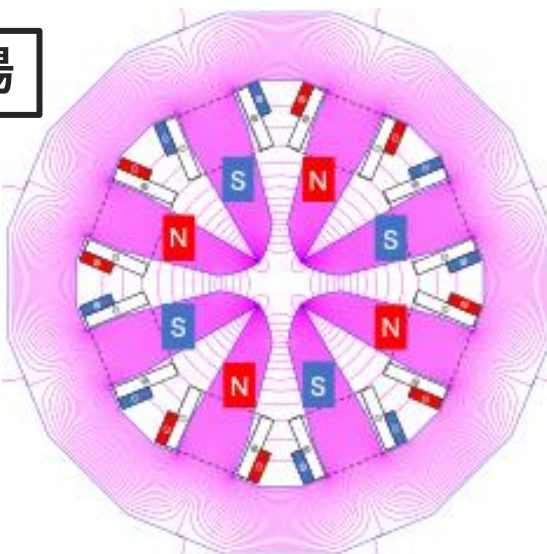
収束磁場



利点

1. 電流値を変更するとそれに比例して磁場が変化します(容易に操作できます)
2. シミュレーションによって高い精度で性能を評価できます
3. 成形磁場を変更しても収束磁場に影響を及ぼしません

成形磁場



本技術の特徴まとめ

概要

複数の磁極が**先端で接する**鉄芯構造を提供します

新たに可能になること

1台で**高精度の収束磁場**と**成形磁場**の両方を**同時**に発生可能な電磁石を製作することができます

利点

- 1台で2つの機能を併せ持つため、**電磁石を減らす**ことができます(1/2)
- 既存技術で実現した場合と比較して、**小型**(1/4)で**小電流**(1/4)、**省冷却設備**(1/16)
- 要望に応じて**任意の大きさや収束力**を持たせるように設計可能です
- 電流値を変更するとそれに比例して磁場が変化するので**容易に操作**できます

適用案

- 既存加速器の**小型化**や**可搬式加速器**の実現
- 標的に合わせた**分布の変更**(平坦入射, ピンポイント入射, 腫瘍形状に合わせた分布の変形)

関連する知的財産権

- [1] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 株式会社トーキン, 「多極電磁石」, 特許7592270.

関連する論文等

- [2] Chimura Motoki, Harada Hiroyuki, Takayanagi Tomohiro, Kinsho Michikazu, "*Development of Quadrupole-Octupole Combined Magnet for Emittance-Growth Mitigation in the J-PARC Linac*," Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 237 (2023).
- [3] 地村幹, 荷電粒子ビームの収束と分布成形を同時に行う「機能結合型多極電磁石」, JAEA技術シーズ集10, 4-2 (2024).

関連する競争的資金

- [4] 地村 幹, 「八極磁場を用いた空間電荷補償による大強度化の研究」, 東北大学高等大学院機構 挑戦的研究支援プロジェクト研究奨励費 (2021年10月 - 2023年3月).

本技術についてのお問い合わせ先

日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 研究推進課
seika.ryou@jaea.go.jp