

我が国における核融合研究開発の展望

新井 知彦

文部科学省 研究開発戦略官(核融合・原子力国際協力担当)



2019年2月13日
核融合エネルギーフォーラム
全体会合
於: 東北大学金属材料研究所2号館講堂

- 核融合の政策的な位置付けの現状
- 原型炉実現に向けた検討状況
- プロジェクトの進捗状況と最近の議論
(ITER計画、BA活動、LHD、FIREX)

核融合エネルギーについて

核融合エネルギーとは

軽い原子核同士(重水素、三重水素)が融合して別の原子核(ヘリウム)に変わる際に放出される太陽と同じエネルギー。

核融合エネルギーの特徴

◆ 豊富な燃料

燃料となる重水素は海水中に豊富に存在し、三重水素は海水中に豊富に存在するリチウムより生成可能。
燃料資源に地域的な偏在がなく豊富に存在し、少量の燃料から膨大なエネルギーを発生(燃料1gで石油8t相当)。

◆ 固有の安全性

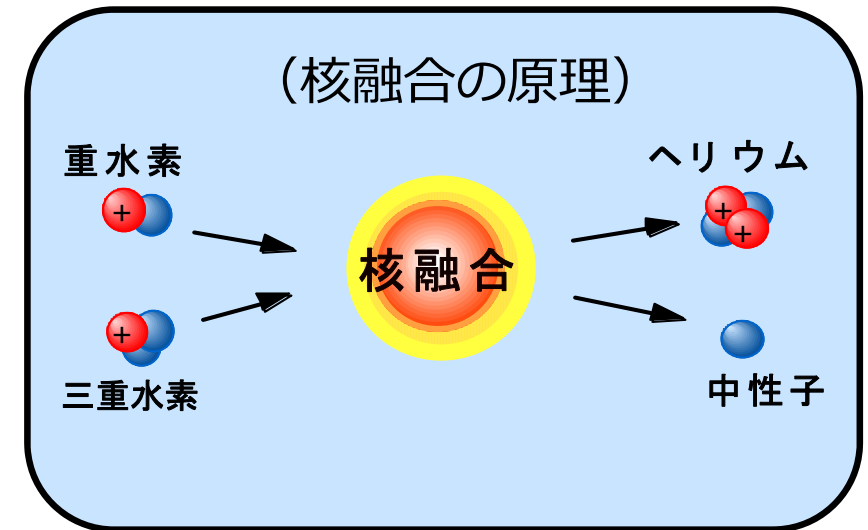
燃料の供給や電源を停止することにより、核融合反応を速やかに停止することが可能。

◆ 高い環境保全性

発電の過程において地球温暖化の原因となる二酸化炭素を発生しない。
発生する低レベル放射性廃棄物は、従来技術で処理処分が可能。

国際的位置付け

欧米やアジアの主要国も、将来的なエネルギー源の有望な選択肢の一つとして、核融合研究開発を着実に推進。



核融合エネルギーの段階的研究開発

科学的実現性

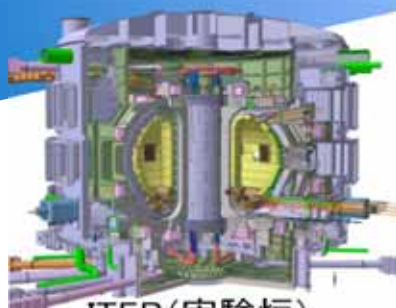
臨界プラズマ条件の達成



JT-60

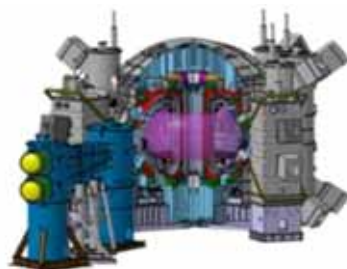
科学的・技術的 実現性

- ・燃焼プラズマの達成・長時間燃焼の実現
- ・原型炉に必要な炉工学技術の基礎の形成



ITER(実験炉)
(ITER機構)

ITER計画



JT-60SA(大型トカマク装置)
(量子科学技術研究開発機構)

BA 活動

技術的実証 経済的実現性

- ・発電実証
- ・経済性の向上



原型炉

現在

実用段階

学術研究



FIREX-I
(阪大レーザー研)



大型ヘリカル装置
(核融合科学研究所)

核融合研究を国の重要施策として位置付け

第5期科学技術基本計画（平成28年1月閣議決定）

◇第3章 経済・社会的課題への対応

将来に向けた重要な技術である核融合等の革新的技術、・・・の確立に向けた研究開発にも取り組む。

◇第4章 科学技術イノベーションの基盤的な力の強化

核融合、・・・などのビッグサイエンスについては、国内外施設の活用及び運用を図り、諸外国との国際共同研究を活発化する仕組みを構築するなど、国として推進する。

第5次エネルギー基本計画（平成30年7月閣議決定）

◇第2章 2030年に向けた基本的な方針と政策対応

・・・核融合エネルギーの実現に向け、ITER計画や幅広いアプローチ活動についてはサイトでの建設や機器の製作が進展しており、引き続き、長期的視野に立って着実に推進するとともに、技術の多様性を確保する観点から、ヘリカル方式・レーザー方式や革新的概念の研究を並行して推進する。

核融合開発に係る研究開発政策の検討状況

➤ 2005年10月

「今後の核融合研究開発の推進方策について」

原子力委員会核融合専門部会

➤ 2007年10月 ITER協定発効

➤ 2015年6月 原型炉設計特別チーム発足

➤ 2016年2月 原型炉開発アクションプラン策定

➤ 2016年11月 ITER計画コスト見直し暫定合意（FP:2020→2025, DT:2027→2035, €51億増）

➤ 2017年12月

「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」策定

「原型炉開発アクションプラン」改訂

科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会

➤ 2018年7月

「原型炉研究開発ロードマップについて（一次まとめ）」策定

科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会



核融合開発に係る研究開発政策の検討状況

核融合原型炉研究開発の推進に向けて(概要)

開発戦略

- 現在最も開発の進んだトカマク方式による技術課題を共通目標
- 炉工学技術の成立性実証、実用化時の現実的経済性
- 相補的、代替的なヘリカル方式・レーザー方式の推進

原型炉段階への移行に向けた考え方

- ITERの核融合運転(DT)が見込まれる2030年代に原型炉移行判断
- 原型炉段階移行時に、実用炉段階で経済性を達成できる見通し
- 中間チェック・アンド・レビュー(C&R)を2回に分けて実施

#1 C&R JT-60SAの運転が開始する2020年頃

#2 C&R ITERのFP(2025年) から数年以内

＊ 原型炉工学設計・必須のコンポーネントの工学開発活動開始も判断



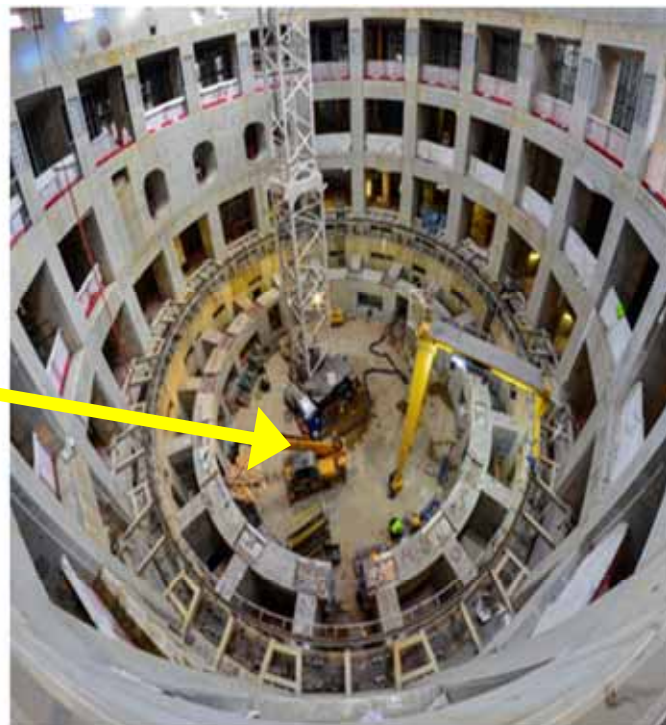
ITERサイトの建設状況等

➡ 2025年運転開始(初プラズマ)に向けて着実に建設作業が進捗

トカマク建設現場(2018年10月)



トカマク設置場所(2018年8月)



日本の機器製作



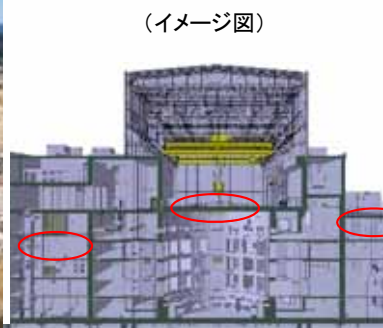
TFコイル巻線
(2018年2月)



TFコイル一体化準備
(2018年8月)



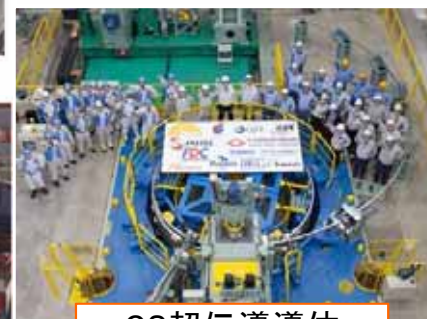
(2015年4月)



トリチウム建屋 本体建屋 計測建屋



(2016年4月)



CS超伝導導体
(2017年10月)



NBTF高電圧機器受入試験
(2018年9月)

幅広いアプローチ(BA)活動について

■▶原型炉に必要な技術基盤を確立するための先進的研究開発を実施しており、高性能加速器の据付・調整やサテライトトカマク(JT-60SA)の建設等が順調に進展

国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動 (IFMF/EVEDA) 事業



国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)事業



遠隔実験センター



JETのダスト・タイル分析



大型超伝導コイル



建設が進むJT-60SA

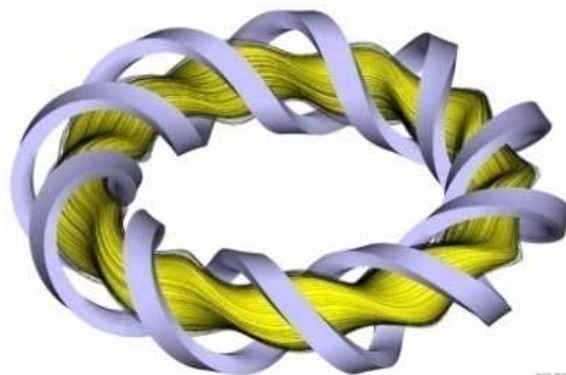


新スパコン「六ちゃん-Ⅱ」

大型ヘリカル装置(LHD)の概要と現状

ヘリカル方式

電磁石をねじる
ヘリカル方式(LHD)



- ◆ 本質的に1年でも定常運転が可能
- ◆ 課題: 点火を見込めるプラズマ高性能化
→ イオン温度1億2,000万度(LHD)

核融合科学研究所 大型ヘリカル装置(LHD)



大型ヘリカル装置の真空容器内部

世界最大級の定常型実験装置
1990～7年度 建設8年計画
1998年4月 本格実験開始
20年間で約14万回を超えるプラズマ実験

主な成果

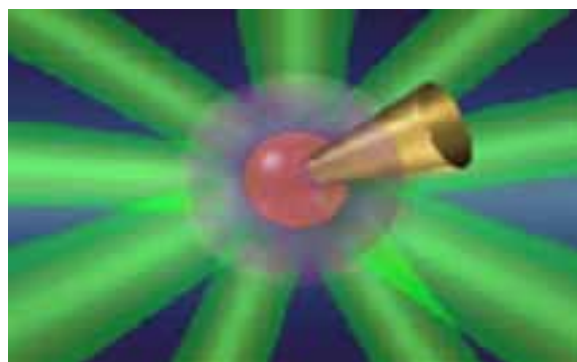
- 2006年度
経済的な核融合炉に必要なプラズマの圧力
(磁場圧力に対して5%)を達成
- 2008年度 **【プラズマ密度の世界最高値】**
核融合炉に必要なプラズマ密度の条件を10倍以上
上回る1,200兆個/ccを達成
- 2013年度 **【プラズマ保持の世界最高値】**
2,300万度のプラズマの48分間連続保持に成功
- 2014年度
イオン温度7,000万度、電子温度8,800万度(13兆個/cc)同時達成
- 2016年度
重水素実験開始
- 2017年度
イオン温度1億2,000万度を達成



高出力レーザー研究の概要と現状

高エネルギーレーザー

高エネルギーレーザーにより圧縮された燃料を高強度レーザーで照射加熱することで核融合点火・燃焼を実現する方式



圧縮と点火を同時に行う中心点火方式に比べ、**10分の1のエネルギーで点火が可能と見込まれる**

高出力レーザー研究

大阪大学レーザー科学研究所を中心に研究開発が推進



経緯と現状

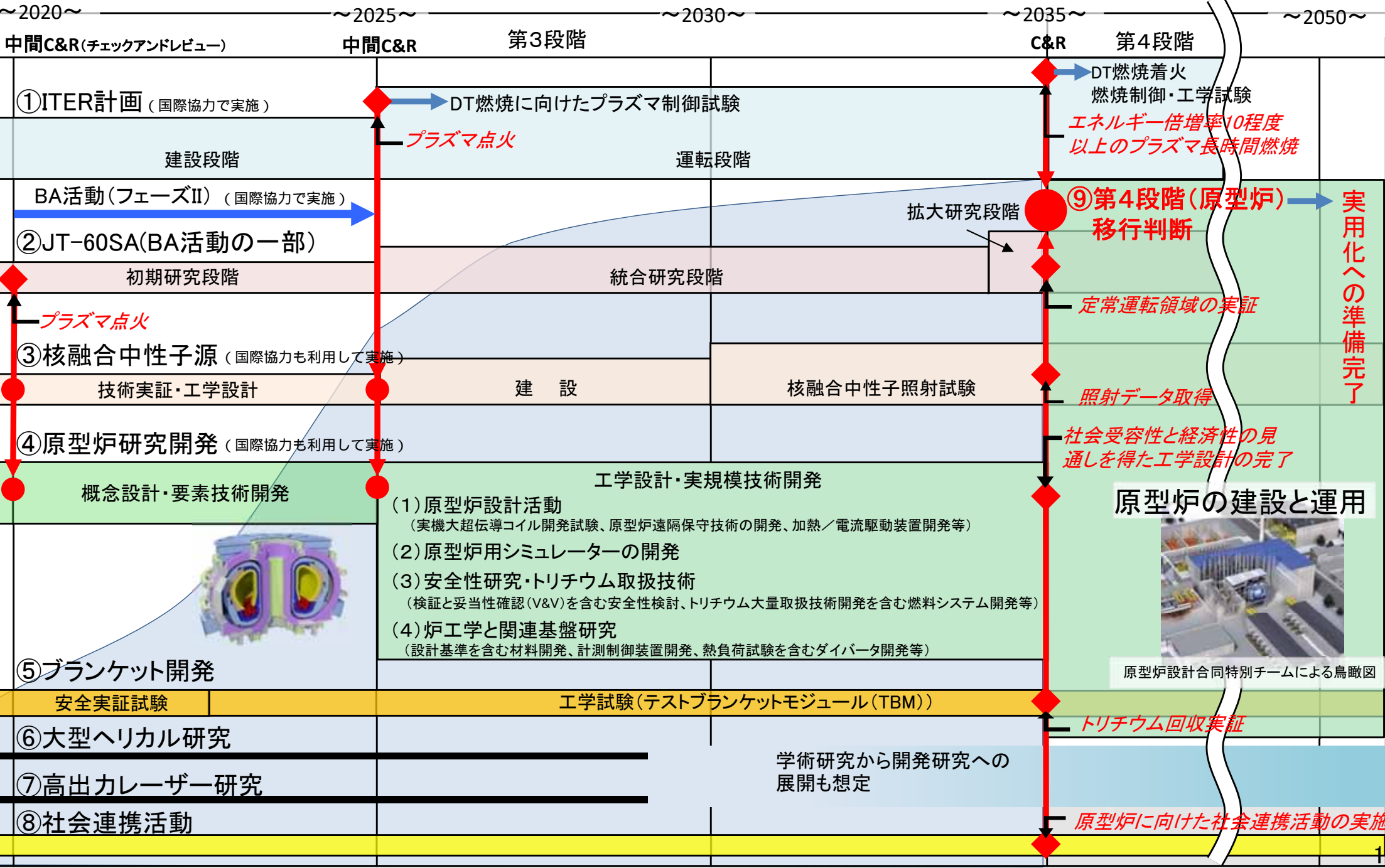
- 2008年に爆縮レーザー(激光XⅡ号)と加熱レーザー(LFEX)を用いて高速点火方式の原理を実証するFIREX-I計画を開始
- 加熱実証において電子温度2200万度以上の加熱実験成功
- 米国ローレンスリバモア国立研究所との研究者の交流、大型レーザーを用いた共同研究などの協力

今後の展開

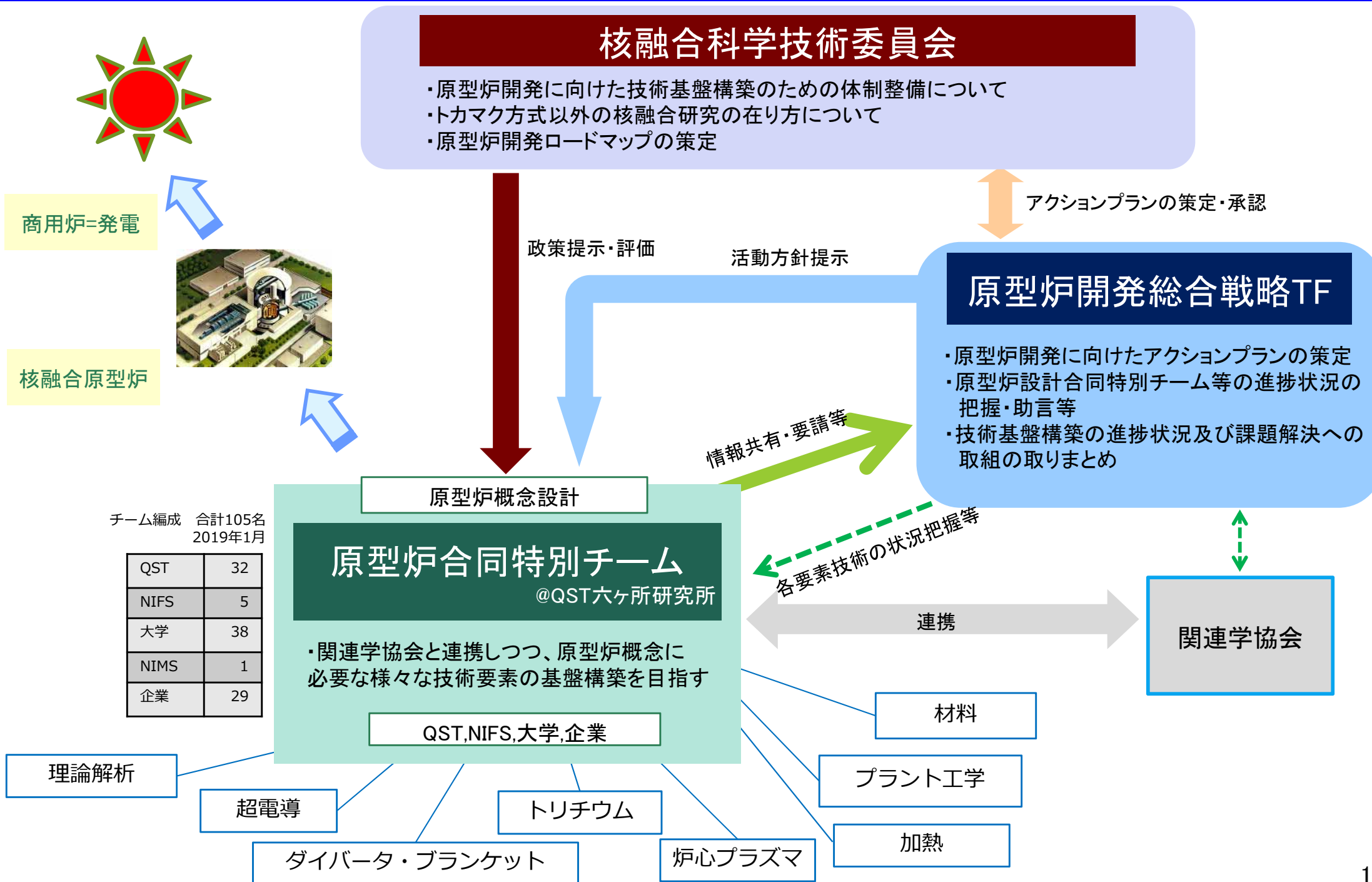
- FIREX-I計画の当初目標である点火温度達成を目指す
- 自己点火を行うFIREX-IIIに向けて国際連携を強化する
- **学術、医療、産業、社会基盤**に渉る非常に幅広い分野への応用を視野に高エネルギー密度科学分野を推進する

原型炉研究開発ロードマップ

- 凡 例
- ◆ 目標達成が求められる時点
 - ▲ 達成すべき目標
 - 次段階への移行判断が求められる時点
 - ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標



原型炉開発の技術基盤構築を進めるための体制



核融合技術の産業展開事例

核融合研究開発で培われた技術成果は、産業基盤として様々な分野で応用

高精度加工技術

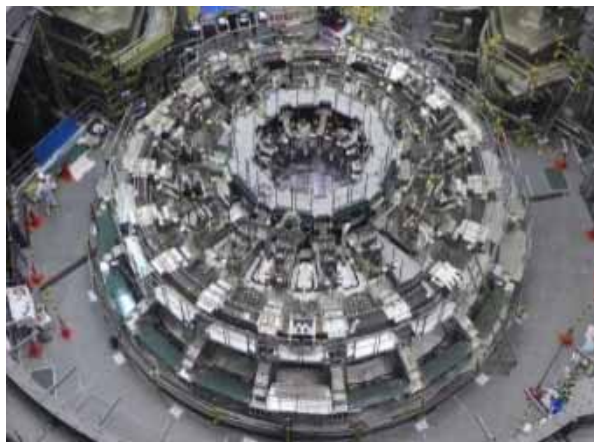


従来にない高精度で大型加工が可能な汎用技術を確立

超大型超伝導
コイル用構造物

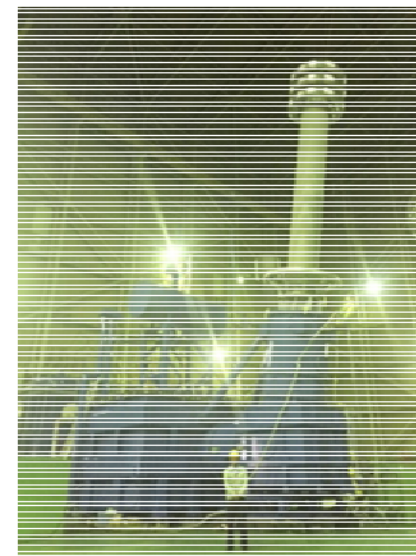
大型機器組立技術

超高精度組立技術により世界をリード



組立中のJT-60SA本体

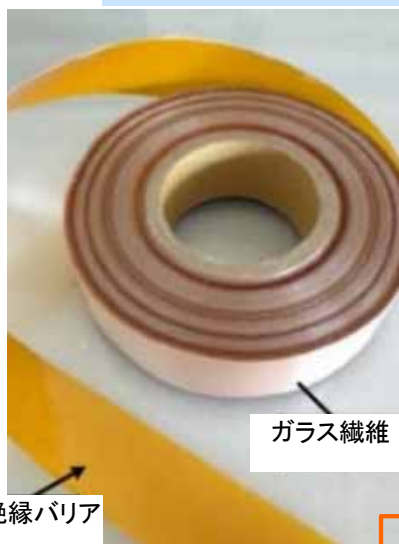
高電圧・大電力技術



電力送電、交通
機関の電力施設
に応用可能

超高電圧用
絶縁変圧器

超伝導コイル技術



開発した絶縁
テープが欧州
でも採用

ガラス繊維

開発した絶縁テープ

計測技術

CO₂レーザーモニター装置が商品化

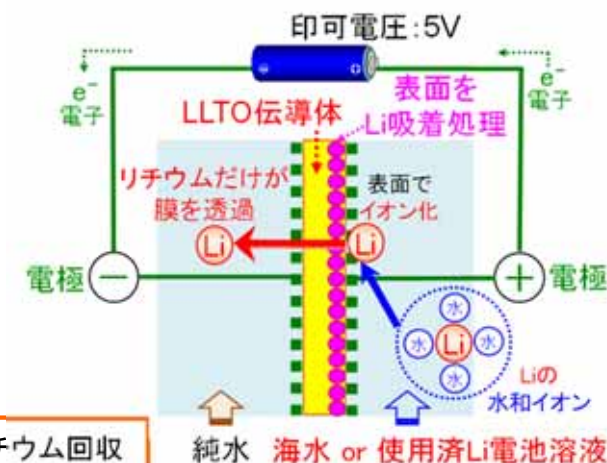


商品化されたCO₂レーザーモニター装置

サンインスツルメント株式会社webページから
<http://www.sun-ins.com/lineup3/co2monitor/>

リチウム回収技術

性能向上とプラント規模の実証を目指す

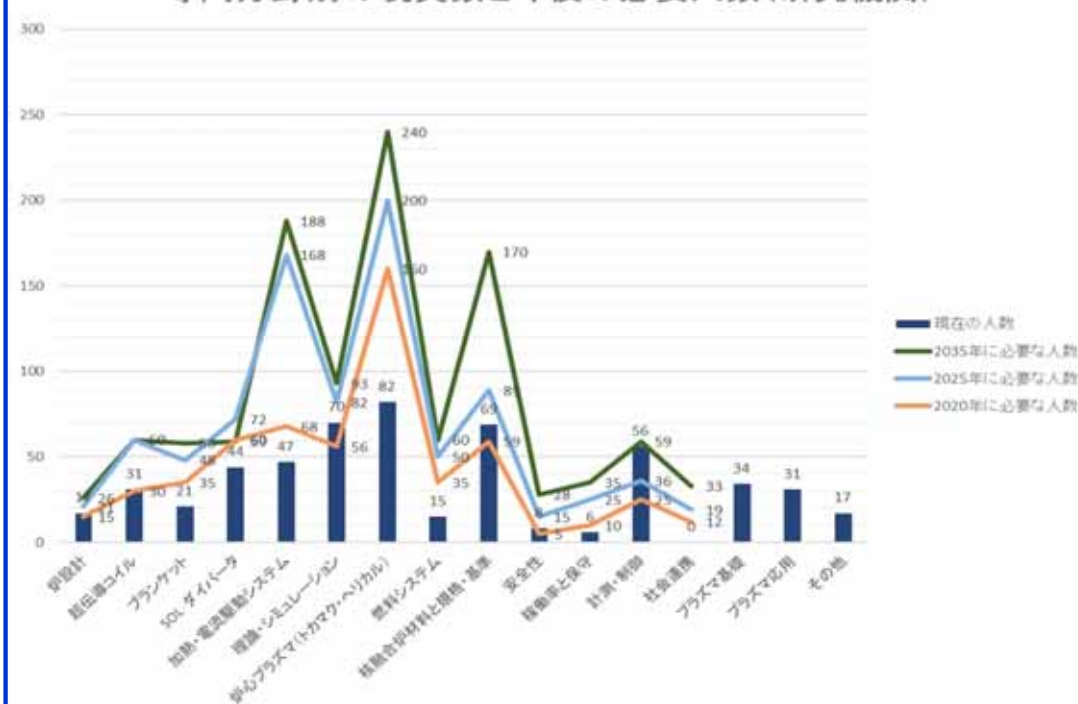


リチウム回収
技術の原理

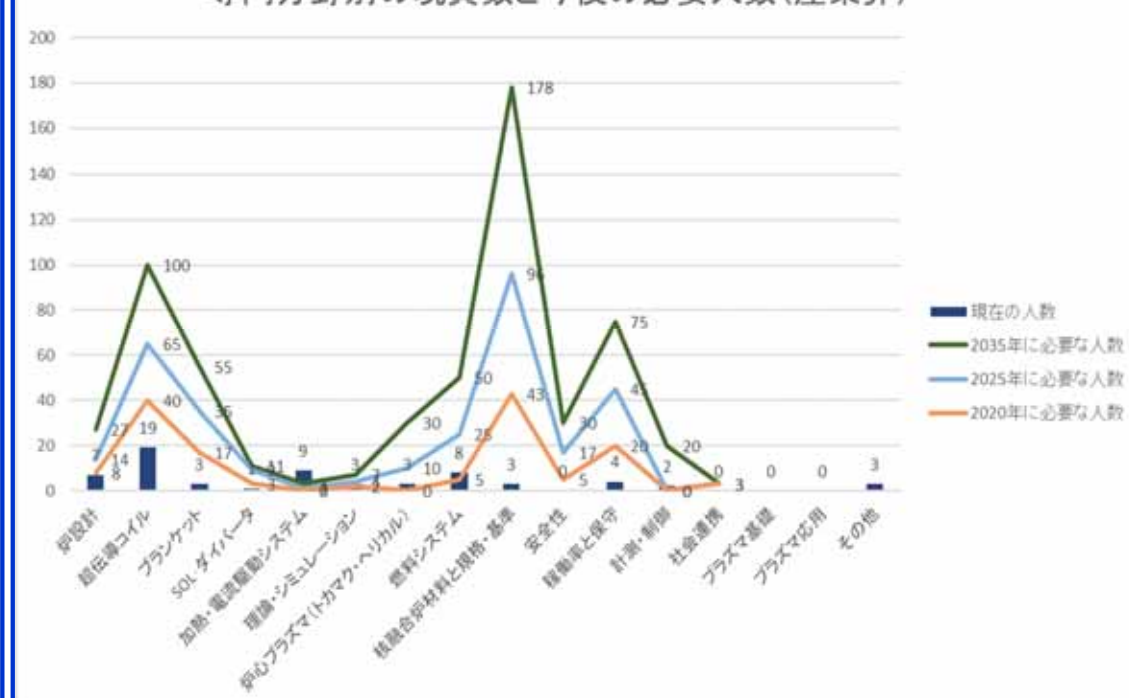
人材育成を取り巻く現状

- 将来必要とされる人員数と、現在主に核融合開発に携わる人員数に大きな隔たり
- 大学でのプラズマ研究に占める核融合研究のウエイトは減少。博士課程進学率は、平成18年と比較して、低下傾向
- ITER計画に関して、我が国は国際的に大きな貢献が期待される一方、ITER機構における日本人職員数割合は、**加盟極中で最低(26名、3.1%)**

専門分野別の現員数と今後の必要人数(研究機関)



専門分野別の現員数と今後の必要人数(産業界)



ITER機構
国別
職員数

EU	中	印	日	韓	露	米	計
8;6	::	67	59	66	69	7<	;6;
9<19 (	<15 (	714 (	614 (	61< (	716 (	81; (	433 (

ITERに行こう！

インターンシップ



大学生、大学院生向け

- 期間は、個別に相談可能
- 派遣部署は、技術系から事務系ポスト等様々あり
- 手当支給もあり
- 過去1年間で5名採用

※ポスト向けのモナコポストクフェロー制度もあり

※詳細は、ITER国内機関(QST)HP

http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/internship_program.html



ITERプロジェクトアソシエイツ(IPA)



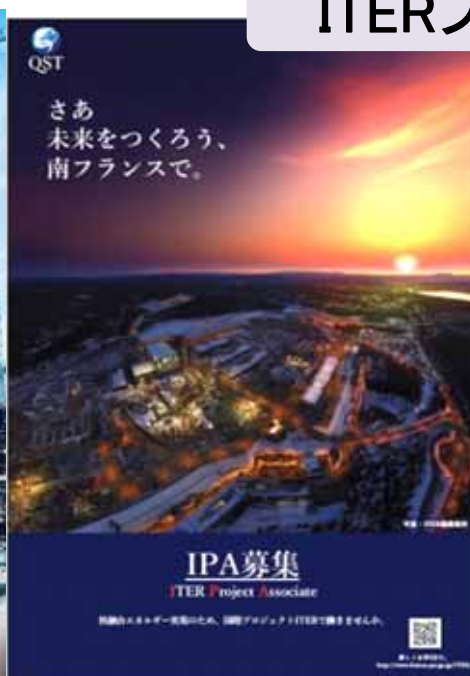
社会人向け

- 現在の勤務先を退職せず、ITER国内機関(QST)に出向した上で、ITER機構で勤務する仕組み
- 期間は、原則4年未満で個別に相談可能
- 派遣部署は、技術系から事務系ポスト等様々あり
- 手当支給もあり

※現在4名派遣中。更なる増加が見込まれている

※詳細は、ITER国内機関(QST)HP

http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/staff/page6_2_6.html



核融合エネルギー開発の推進に向けた人材の育成・確保について

III➡ 長期的な計画に基づき、原型炉開発を担う人材を継続的・安定的に育成・輩出し、その人材を確保し、さらに育成する環境整備が必要

大学院 教育

博士課程学生を増加させるため、学術研究を推進し、基礎研究環境の維持・充実が必要

➡ 広範で多様な専門を習得する教育プログラムの構築や、ものづくりやシステム統合を経験 するための産学の連携

人材 流動性

ITER計画・BA活動と国内研究開発を連携させ、知の循環システムとして発展させることが必要

➡ ITER機構を含む、産学で広範囲な人材流動性構築と、魅力的なキャリアパスの確立

アウト リーチ

子供を含む広い世代に対する、核融合研究開発への興味喚起と相互理解が必要

➡ 即戦力・将来の人材の確保、並びに核融合の社会受容性向上の観点から、アウトリーチなどの社会連携活動

大学等を対象とした新たな共同研究について体制について

2019年度 新規公募課題

NIFS共同研究

大学等の自主自律を前提とし、中長期的な人材育成を含むアクションプランを遂行する研究開発

課題指定型

3年・上限総額1,500万円

若手枠
有

- 液体ブランケットのMHD圧力損失低減
- 液体ブランケット異材接合部の増殖/冷却材との共存性研究
- ダイバータ機器健全性評価技術の開発
- 耐照射性向上に向けたダイバータ用タングステン合金の開発
- ダイバータ用タングステン合金の再結晶抑制技術の開発
- ダイバータデタッチメントプラズマ中の原子分子過程実験とモデリング
- 燃料循環システム要素技術

課題提案型

単年度・上限100万

3月上旬公募開始予定

QST共同研究

アクションプランを直接的に遂行する研究開発

3年（最長5年）・上限額100万円/年

- サプレッションプールでの水蒸気凝縮過程における非凝縮性ガスの影響
- 原型炉に向けたダイバータシミュレーション
- 低放射化フェライト鋼の照射硬化因子評価技術の開発
- 核融合中性子照射場の理論的定量化に関する研究
- 核融合中性子源の照射モジュールシステムに関する研究

1月下旬公募開始 現在募集中！

★公募に関する詳細情報（研究期間・申請額・応募資格など）は各機関HPをご確認ください

ま と め

原型炉を実現し、核融合エネルギーの実用化を目指すために、

➤ ITER計画、BA活動の着実な遂行

- 2025年FP、2035年DTの達成
- BAフェーズⅡ(2020年4月以降)に向けた検討
(IFMIF/EVEDA、JT-60SA)

➤ 中長期的視点に立ち、原型炉を見据えた研究開発・人材育成の展開

- 原型炉段階への移行判断に向けた、チェックアンドレビュー
- 産学官が一体となり、人材流動性を確保した人材育成
- 戦略的なアウトリーチ活動の展開・体制整備

